

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний Технічний Університет
"Харківський Політехнічний Інститут"**

**Ministerium der Ausbildung, Wissenschaft, Jugend und Sport der Ukraine
Nationale Technische Universität
"Polytechnisches Institut Charkiw"**

**О.В. Григоров, В.П. Свіргун,
Г.О. Аніщенко, В.В. Стрижак, А.О. Окунь
O. Grigorow, W. Swirgun, G. Anishchenko, W. Stryzhak, A. Okun**

**Оптимальне керування
підйомно-транспортними машинами
Optimale Steuerung
für
Hebe- und Fördermaschinen**

Навчальний посібник

**Рекомендовано
Вченою Радою НТУ "ХПІ",
Протокол № 12 від 12.12.2011**

**Харків НТУ "ХПІ" 2013
Charkiw NTU "HPI" 2013**

УДК 621.86(073)

ББК 39.9я73

О 62

Рецензенти: *Є. С. Венцель*, д-р техн. наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; *А. П. Нестеров*, д-р техн. наук, професор, Українська інженерно-педагогічна академія; *В. М. Шамардіна*, к.т.н., професор, декан Німецького технічного факультету, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України,
лист № 1/11-11679 від 16.07.2012

Розглядаються актуальні питання підйомно-транспортної техніки – розробка найбільш раціональних способів керування крановими механізмами в автоматичному режимі за допомогою мікропроцесора; оптимізації процесу керування, при якому досягається мінімальний час перевантажувального циклу шляхом точного позиціонування й усунення коливань вантажу після зупинки кранових механізмів. Призначено для студентів Німецьких технічних факультетів спеціальностей "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання", "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод", "Електронні системи".

Grigorow O.

О 62 Optimale Steuerung für Hebe- und Fördermaschinen : навч. посіб. /
О. Grigorow, W. Swirgun, G. Anishchenko u.a. – X. : НТУ "ХПІ", 2013.
– 240 с. – Нім. мовою

ISBN _____

Es werden die aktuellen Fragen der Hebe- und Fordertechnik der Entwicklung der rationalsten Weisen der Steuerung der Kranmechanismen in automatischer Betriebsart mit Hilfe des Mikroprozessors betrachtet, der Optimierung des Prozesses der Verwaltung, bei der die minimale Zeit des Umladungszyklus mittels der genauen Position und der Beseitigung der Schwingungen der Ladung nach der Abstellen der Kranmechanismen erreicht wird. Es ist für die Studenten der Deutschen technischen Fakultäten der Fachrichtung "Hebe- und Förder-, Bau-, Straßenbau-, Melioration- die Maschinen und die Ausrüstung", "die Elektromechanischen Systeme der Automatisierung und der elektrische Antrieb", "die Elektronischen Systeme" vorbestimmt.

УДК 621.86(073)

ББК 39.9я73

© О. Grigorow, W. Swirgun, G. Anishchenko,
W. Stryzhak, A. Okun

ISBN _____

© NTU "HPI", 2013

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник присвячено актуальному питанню підйомно-транспортної техніки – розробці найбільш раціональних способів керування крановими механізмами в автоматичному режимі від мікропроцесора. Ціль проведених досліджень – оптимізувати процес керування, при якому досягається мінімальний час перевантажувального циклу шляхом точного позиціювання й усунення коливань вантажу після зупинки кранових механізмів.

У главі 1 надається докладний патентний і літературний огляд з теми досліджень, у якому використано матеріали, надруковані за останні 30 років у розвинених країнах, де займалися даною проблемою. На основі вітчизняного та світового досвіду визначені найбільш перспективні напрямки досліджень.

У главі 2 приведено всебічні теоретичні дослідження з метою визначення оптимального закону руху різних кранових механізмів при різних параметрах крана і його режимів. Дослідження побудовані на основі принципу максимуму Л.С. Понтрягіна й методу фазової площини. Наведено численні приклади розрахунку оптимальних законів керування для різних типів крана.

У главі 3 розглянуто різні схеми мікропроцесорних систем керування вантажо-підйомними машинами, які здатні реалізувати оптимальні режими роботи крана. Наведено численні документи натурних випробувань різних автоматичних систем, надано їх порівняльний аналіз.

У главі 4 надано опис автоматичної системи керування складом, її функціональних можливостей і режиму роботи.

У главі 5 наведено опис мікропроцесорної системи керування краном. Розглянуто типові схеми електронної частини системи, датчиків зворотного зв'язку, електричного приводу, алгоритми й програми керування.

У главі 6 наведено технічні вимоги до створення дослідного зразка мікропроцесорної системи оптимального керування мостовим грейферним краном.

У навчальному посібнику також подано список літератури за даною тематикою та додатки.

О.В. Григоров,
д-р техн. наук, професор

VORWORT

Die Lernprogramm ist der aktuellen Frage von der Hebe- und Fördertechnik – der Ausarbeitung der größten zweckmäßiger Verfahren der Automatisierungslenkung von Kranbauteilen mittels Mikroprozessors gewidmet. Das Ziel der durchgeführten Forschungen – die Optimierung des Lenkungsprozesses, bei dem die kürzeste Zeit des Überladungszyklus mittels der genauer Positionierung und der Entfernung von Lastschwingungen nach dem Anhalten von Kranbauteilen erreicht wird.

Im 1. Kapitel wird die ausführliche Patent- und Literaturübersicht nach dem Forschungsthema angeführt, in der die für letzte 30 Jahre in entwickelten Ländern, wo man sich mit diesem Problem beschäftigt, gedruckten Materialien ausgenutzt werden. Auf der Grundlage der Inlands- und Welterfahrung sind die größten perspektivischen Forschungsrichtungen bestimmt.

Im 2. Kapitel werden die allseitigen theoretischen Forschungen Zwecks der Bestimmung des Optimalbewegungsgesetzes verschiedener Kranbauteilen bei den verschiedenen Kranparametern und seinen Arbeitsbedingungen angeführt. Die Forschungen sind auf der Grundlage des Maximumgrundsatzes von L.S. Portnjagin und der Methode der Phasenfläche. Es ist die zahlreichen Beispiele der Rechnung der Optimallenkungsetze für verschiedene Krantype angeführt.

Im 3. Kapitel sind verschiedene Schemas der Lenkungssysteme von lasthebemaschinen analysiert, die optimalarbeitsbedingungen des Kranes verwirklichen können. Es ist zahlreiche Dokumente Naturuntersuchungen verschiedener Automatisierungssysteme angeführt, ihre Vergleichungsanalyse gegeben.

Das Kapitel 4 ist die Beschreibung des Automatisierungssystems von Lagerlenkung, seine Funktionmöglichkeiten und Arbeitsbedingungen.

Das Kapitel 5 ist die Beschreibung des Mikroprozessorsystem von Kranlenkung. In dieser Beschreibung werden Typenschemas des Elektronenteiles des Systems, der Geber von der Rückkopplung, des Elektroantriebes Algorithmen und Lenkungsprogramme angeführt.

Im 6. Kapitel sind technische Forderungen auf die Schaffung des Versuchsmuster des Mikroprozessorsystems von Optimallenkung der Greiferkranbrücke gegeben.

In der Lernprogramm ist es auch die große Liste der Literatur in dieser Thematik und Anlagen.

O. Grigorow,
Sc.D., Professor

EINFÜHRUNG

Eine von den Möglichkeiten der Erhöhung von Betriebsleistung von Hebe- und Fördermaschinen ist Automatisierung ihrer Arbeit auf dem Grund der Mikroprozessortechnik. In vielen Fällen mit Benutzung von Möglichkeiten der Rechentechnikmittel kann man optimale Steuerung von Kranantrieben und Überlastungskomplexen in folgende Faktoren erreichen:

- Schnellwirkung;
- Leistungsfähigkeit;
- Genauigkeit des Zieltreffens;

maximale Benutzung des Kranes in Tragfähigkeit bei verschiedenen Ausflügen des Pfeiles, Drehwinkel u.s.w.

Die Anwendung von Mikroprozessortechnik erlaubt Arbeitsbedingungen von Kranmaschinisten bedeutend zu verbessern, ihre Müdigkeit zu vermindern.

Zur Zeit in Reihe von Entwurf und Betriebsorganisationen der Gus-Länder ist dringende Notwendigkeit der Anwendung von Mikroprozessormitteln für Hebe- und Fördertechnik bewußt. So, z.B., SKTB des Turmkranbaues von Moskovskij BV "Strojmasch" bestimmt sein Bedarf in Mikroprozessor für Steuerung, Prüfung und Diagnostik von Turmkranen in 3000 Stücke pro Jahr.

Die Reihe von Organisationen, die mit der Hebe- und Fördertechnik betrieben, wollten in der nächsten Zeit Mikroprozessormittel für volle Automatisierung von Kranen anwenden, unter ihnen-Chartsysskij und Wolgogradskij Stahldrahtseilwerke, Noworjasanskaja TETS, Smijewskaja GRES (Charkowskajagebiet) und viele andere.

Solche bedeutende Auftragsmappe muß die Ausarbeiter von Mikroprozessortechnik lassen solchem Absatzmarkt ihrer. Produktion Aufmerksamkeit schenken, wie in dieser Zeit der Zweig von Hebe- und Fördertechnik ist.

Zur Zeit nähert sich die Arbeitsintensivität einiger Krane zur Grenze von Menschenmöglichkeiten, daß in einzelnen Fällen jede Stunde Kranführer wegen nervöskörperlichen Überlastungen zu wechseln nötigt. Zu diesen Kranen kann man gehören:

- Greifer – Bunkerüberladeeinrichtungen von See- und Flußhafen;
- Turmkranen für Betoneinpacken auf dem Dammbau der Hydroelektrostationen;
- Portalgreiferkrane, die mit Massenlasten arbeiten;
- Greiferbrückenkrane und Überladeeinrichtungen auf den metallurgischen und chemischen Betrieben;
- Kabelkrane für Betoneinpacken;
- Containerkrane für Arbeit in Häfen und großen Eisenbahnstationen;
- Hüttenkrane für den Zusammenbau der Züge von Flaschen mit steigendes Gießen u.a.

Aktualität des betrachteten Problems ist aus folgenden Angaben klar, die der Anzahl von Patenten und Urheberscheinen entsprechen, die zum automatischen Steuern von Hebe- und Fördermaschinen in der Periode seit 1972 bis jetzige Zeit gehören:

GUS-Länder 84

USA 11

England 7

Frankreich 16

Deutschland 56

Japan 100

Bulgarien 4

Ungarn 1

Polen 10

Andere Länder 14

Für dieselbe Periode ist die Anzahl der wissenschaftlichen und technischen Veröffentlichungen in der Welt – 98 aus ihnen für GUS-Länder – 29.

Im Gebiet von Mikroprozessormitteln arbeiten die Länder des ehemaligen sozialistischen Lagers hauptsächlich mit GUS-Ländern nach den Programmen EC, CM, MC. Dabei im Gebiet MC herstellen GUS-Länder den Mikrorechner der Klasse "Elektronika", und andere Länder Peripheriesysteme (Display, AWGE u.a.) Außerdem werden in Bulgarien den Mikrorechner "Prawez" (Prozessor der Serie 580) und neue ERM mit dem mächtigen Mikroprozessor USA M68000 der Klasse – 16 (oder 32) (Hersteller Firma Motorola) produziert. In der ehemaligen DDR arbeitete Firma "Robotron" auf dem Mikroprozessor MG Z80 (Firma Zilog – USA); in Polen arbeitet Firma "Mesha" auf Maschinen von GUS-Ländern "Elektronika-60" – mit der Zugebung der eigenen Peripherie und der eigenen Zusammensetzung des Systemes; in Ungarn – werden die besten ERM aus den Ländern des ehemaligen sozialistischen Lagers – auf der Grundlage der Module USA und Japan von der Firma "Wideoton" produziert – verschiedene bis die modernsten.

Leider es gibt keinen Mehrzweckbordcomputer in den Ländern des ehemaligen sozialistischen Lagers, der an den strengsten und verschiedensten Anforderungen der Hebe- und Fördertechnik gerecht wird. Am nächsten zur Lösung dieser Aufgabe war Firma "Robotron" (Deutschland), die nach dem Auftrag des Kranbauvereines TAKRAA arbeitete.

In entwickelten kapitalistischen Ländern (USA, England, Japan, Frankreich, Deutschland) sind Bordcomputer verschiedener Type produziert. Unter ihnen waren Mikroprozessoren am meisten verbreitet:

Zilog Z 80A;

Intel 8086, 80186, 80286, 80386, 8087;

Motorolla M68000;

LTC – zusammengesetzte Mikro-ERM.

Die führenden Fremdfirmen, die Lasthebemaschinen mit Mikroprozessorsteuerung und automatische Kransteuerungssysteme produzieren, sind [1, 2, 3, 4]:

Deutschland – "Fr. Krupp",
"Siemens AG",
"AEG – Telefunken",
"Mannermann Demag Fordertechnik",
"Oreurtein und Koppel",
"Peiner AG",
"Aunund Forderban",
"Haupler-Wenker",
"Abus KG",
"Berges Electronic GmbH",
"Betax GmbH",
"Dickertmann",
"Mohr Federhaff"

Japan – "Hitachi Ltd",
"Vatsu Hidsutsu",
"Toshiba",
"Nippon Kikay",
"Mitsubishi Denki"
"FMS"

Frankreich – "Pootain",
"La Telemecanique et Electrique SA",
"Verlinde",
"La farge Conseils et Etudes",
"Coman"

Finnland – "Kone",
die Niederlande – "Onrad-Stork".

Die letzten Jahre werden durch einen stürmischen Wachstum der Produktion von Kranen, mit Mikroprozessoren-Steuerungen ausgerüstet, und durch Forschungen auf diesem Gebiet charakterisiert. In den Ländern der ehemaligen sozialistischen Gemeinschaft hatten bestimmte Erfolge die Deutschland und Volksrepublik Bulgarien.

So wurden zum Beispiel in der Deutschland im VEB "Roter Oktober" (Magdeburg) Auslegerkrane mit luftbereiften und Raupenfahrwerken, mit einem Mikroprozessoren-System zur Begrenzung des allgemeinen Moments ausgerüstet, der auf den Kran in Abhängigkeit von der Auslegersausladung, den Drehwinkel des Auslegers, den Neigungswinkel der Bühne wirkt. Bauelemente dieses Systems wurden vom VEB "Robotron" hergestellt und in die GUS, in das Autokranbauwerk Iwanowo geliefert.

In der Deutschland werden gewichtige theoretische und praktische Forschungen für andere Arten der Fördermaschinen betrieben. So sind z.B. an der TU Otto-von-Guericke Magdeburg die Versionen der Mikroprozessoren-Steuerungen für einige reelle Bock-, Greifer- und Brückenkrane und für die Kranen mit luftbereiftem und dem Raupenwerk betrieben.

An der TU Dortmund und dem Fraunhofer Forschungs-Institut werden gewichtige Forschungen im Bereich Mikroprozessoren-Steuerungen für Brückenkrane, Transportwagen von großer Tragfähigkeit, Lagerausrüstungen und – geräte für Flughafen und Krankenhäuser betrieben.

An der TU Dresden wurden Untersuchungen der Mikroprozessoren-Steuerungen für einen Portalkran, der nach dem Schema "Kenguru" arbeitet, betrieben.

In Bulgarien werden theoretische Forschungen im Bereich der Beruhigung der Lastschwingungen mit einem biegsamen Aufhängen betrieben. Die in Bulgarien hergestellte Flaschenzüge werden mit Systemen der automatisierten Steuerung, der Kontrolle und der Diagnostik ausgerüstet. Nach der stürmischen Entwicklung von Mikroprozessorenmitteln, den PC aus der Bulgariens Produktion zu schließen, ist es dort in den nächsten Jahren das Erscheinen ver- schiebener Fördermaschinen und Komplexen, mit den Mikroprozessoren-Steuerungen ausgerüstet, zu erwarten.

In Laufe von letzten Jahren werden in den verschiedenen Institutionen der GUS die Arbeiten zur theoretischen Lösung einer Reihe von Problemen der automatisierten Steuerung und praktischer Realisierung der Mikroprozessoren-Steuerung an den naturellen Kranen betrieben. Zu solchen Institutionen gehören WNIPTMASCH, WNIISTROJDORMASCH, MWTU Baumann, Institut von Problemen der Mechanik AN GUS, PO Shdanowtjashmasch, DIIMF, LIWT, Lengiporetischtrans, LPI Kalinin, KADI, Institut für Automatik (Kiew), Permskij polytechnisches Institut, UPI (St. Jekaterinburg), ChAI, ChGPU (Charkow) und andere.

Im WNIPTMASCH sind konkrete Ergebnisse in den Steuerungen der Brückenkrane, automatischer Manipulatoren, verschiedener Stände, der Systeme für Sammeln der Informationen uder die Arbeit der Kranmechanismen mit Hilfe von Mikroprozessoren erzielt.

Die Forschungen werden von W.I. Soselow, B.M. Romaschkin und anderen geleitet.

Im Institut WNIISTROJDORMASCH wurde ein bedeutender wissenschaftlicher Vorlauf in dem zu erörternden Bereich durch die Arbeiten von A.A. Sarezkij, N.I. Portnoj, A.M. Tolpin, L.A. Newsorow u.a. geschaffen. Zur Zeit ist SKT-Büro für den Turmkranbau Produktionsvereinigung "Strojdomasch" Mockau mit diesen Problemen beauftragt worden, wo ein Forschungslabor für die Mikroprozessorentchnik unfer der Leitung von E.M. Pewner gegründet worden ist.

Im MWTU N.S. Baumann werden unter der Leitung von W.S. Polkownikow, M.M. Runow theoretische und experimentelle Arbeiten im Bereich der Schwingungsberuhigungen und des genauen Laststillstands beim Stufenbremsbetrieb der Laufkatze betrieben.

Im Institut der Probleme der Mechanik der Akademie der Wissenschaften der GUS (Moskau) sind unter der Leitung von F.L. Tschernoubjko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolow, W.M. Mamalyga, L.T. Saremba grundlagen-theoretische Aspekte für Steuerungen der Schwingungen, Schwingungsberuhigungen der Last erarbeitet worden. Von der Produktionsvereinigung Schwermaschinenbau Mariupol (PO Shdanowtjashmasch) werden gewichtige Untersuchungen der heimischen Mikroprozessorenmittel für verschiedene Bedingungen in Bezug auf die Klimazonen an den Rüttelständen u.a. durchgeführt.

Es ist "in Metall" eine Reihe von Kranen, Manipulatoren für Galvanisierhallen mit den Mikroprozessoren-Steuerungen geschaffen worden. Es ist ein wissenschaftlicher Vorlauf gemacht. Diese Forschungsarbeiten werden von W.D. Sablin, W.W. Iewtenko, N.W. Malyshew, W.I. Rubzow, W.P. Misjura, L.G. Meilis, G.A. Mizkewitsch u.a. geleitet.

Im Institut der Ingenieure der Handelsflotte in Odessa arbeitet man an der der Schaffung automatisierter Container- und Portalkrane mit dem Einsatz von Mikroprozessorenmitteln. Man hat schon bedeutende positive Erfahrungen im Einführung erworben. Begründer dieser wissenschaftlichen Richtung ist N.I. Jerofejew.

Zur Zeit wird diese wissenschaftliche Richtung von N.F. Subkow, P.M. Strelzow, B.J. Taraßjuk und anderen fortgesetzt.

Im Institut für Wassertransport (St.-Petersburg) arbeitet man an der Automatisierung der Portalkrane, Greiferumlader. Einen bedeutenden Beitrag haben folgende Forscher geleistet: M.S. Komarow, W.F. Sirotskij, E.A. Drosdowitsch, S.L. Birger, A.M. Kogan u.a. Man hat positive Betriebserfahrungen betreffend der Portalkrane gesammelt, die im automatischen Betrieb im Flußhafen Kombarka (Süd-Ural) funktionieren.

Im Institut Lengiprortschtrans wird unter der Leitung von J.P. Oßinzew ein automatisiertes Steuerungssystem für eine Gruppe von Brückengreiferkranen für den Seehafen Washino (Ladoga-See) geschaffen.

Im Leningrader polytechnischen Institut sind verschiedene Aspekte der optimalen Steuerung der Bewegung der Last mit einem biegsamen räumlichen Anhängen ausgearbeitet.

Im Institut für Automobil- und Straßenbau (Kiew) sind theoretische Arbeiten zur optimalen Steuerung der Erzulader für Produktionsvereinigung Shdanowtjashmasch erfüllt worden.

Im Kiewer Institut für Automatik wurde ein System programmierter Radio-Steuerung eines Turm-Betonierkrans ausgearbeitet.

Im polytechnischen Institut Permj wurde unter der Leitung von W.A. Shilin, L.I. Kibrik, I.D. Kolodjashnyj eine Theorie zur optimalen Steuerung der Mechanismen für die Änderung der Kranausladung und der Drehung von Portalkranen ausgearbeitet, was ein funktionierendes Modell eines Systems zur Steuerung von einem Portalkran für die Ausbildung der Kranführer in der rationellen Kransteuerung im Minmorflot der GUS zu schaffen und zu vervielfältigen erlaubte. Im Modell wurde Analog-Rechentechnik angewendet.

Im Uraler polytechnischen Institut (Swerdlowsk) wurde von S.A. Kasak eine erhebliche theoretische Arbeit zur Bestimmung des Schwingungscharakters mit einer zu verändernden Länge der Aufhängung, zur Ermittlung der Berechnungswinkelgröße bei der größten Abweichung einer schwingenden Last geleistet.

Die Charkower Forscherschule hat in die Fragen einer optimalen Steuerung der Fördermaschinen einen erheblichen Beitrag geleistet. So hat z.B. Prof. B.S. Kowalskij viele Fragen, die mit den schrägen Lastschwingungen verbunden sind, ausgearbeitet.

Im Charkower Flugzeugbauinstitut wurden unter der Leitung von M.M. Perlmutter, L.N. Poljakow und deren Schülern die Fragen der Synthese von Steuerungssystemen der Mechanismen der Spezialkrane ausgearbeitet. Viele wissenschaftliche Ansätze wurden an den realen Erzumladern der Hüttenwerke probiert.

An der Nationalen Technischen Universität, Charkiver Polytechnische Hochschule sind Fragen der optimalen schnellwirkenden Steuerung mit einem biegsamen Lastaufhängen erarbeitet worden. Hier hat man eine Erfahrung bei der Schaffung und den natürlichen Forschungen von Steuerungssystemen, die eine Schiefstellung der Brückenkrane im Plan beseitigen, Drehmomente an den Wellenleitungen der Transmission der Fahrwerksmechanismen bei den Übergangsvorgängen stabilisieren, die Lastschwingungen nach der Beendigung des Kranfahrens am Beispiel eines Brückenkranes beseitigen, welcher mit einem hydraulischräumlichen Antrieb und den Elementen eines Logistik-Steuerungssystems versehen worden ist. Es sind auch verschiedene Versionen der Mikroprozessoren-Systeme zur optimalen Steuerung einiger Fördermaschinen geschaffen und geprüft worden.

Die Ausmaße und Niveau der Erarbeitung von Mikroprozessoren- mitteln für die Fördermaschinen der GUSstaaten eischätzend, könnte es festgestellt werden, daß nur einzelne Erfolge an den experimentellen und Versuchsmustern erzielt und daß die energischen Maßnahmen auf den verschiedenen Ebenen zur Aufhebung des Rückstandes auf diesem Gebiet getroffen worden sind.

1. СУЧАСНИЙ СТАН У ГАЛУЗІ КЕРУВАННЯ КРАНАМИ. ZUM MODERNEN STAND VON KRANSTEUERUNGEN

1.1. Аналітичний огляд видів керування. Analytischer Überblick von Steuerungsarten

Einer der Steigerungswege produktiver Nutzbarkeit der Lasthebemaschinen ist die Automatisierung deren Arbeit auf der Mikroprozessorenbasis. Es ist in vielen Fällen möglich, die optimale Steuerung der Kranantriebe an einer Reihe folgender Faktoren zu erreichen; Schnellwirkung, Genauigkeit des Richtens auf das Ziel, maximale Kranausnutzung in seiner Lasthebefähigkeit bei verschiedenen Kranausladungen, Drehwinkeln usw.

Die Arbeitsintensität einiger Kräne hat sich zur Zeit an die Grenze menschlicher Möglichkeiten herangenhört, was in Einzelfällen die Kranführer wegen der nervlich-physikalischen Überlastungen wechseln lässt. Zu solchen Kranen gehören Greifer- und Bunkerumlader in den See- und Flusshäfen, Betoneinbringer-Turmkrane auf den Bauten von Staudämmen für Wasserkraftwerke, Torgreiferkrane, die Massen- und Schüttgüter verarbeiten, Brücken- Greiferkrane- und Umlader in den Betrieben der Hütten- und chemischen Industrie, Kabelkran-Betoneinbringer, Containerkrane in Häfen und den großen Eisenbahnstationen, metallurgische Krane für den Zusammenbau der

Blockformen mit steigendem Stahlgießen u.a.

Der Kran stellt ein kompliziertes mechanisches System dar, welches unter Berücksichtigung der Lastdynamik mehrere Freiheitsstufen besitzt. Der Zusammenlauf seiner Mechanismen wird durch das System der unlinearen Differentialgleichungen des hohen Grades beschrieben.

Eine allgemeine Lösung dieses Systems bietet sich als unmöglich. Es sind verschiedene Steuerungsweisen dieser Bewegung bekannt, die als vereinfachte Versionen dieser Gleichungen sind.

Zur Erzeugung verschiedener Steuerungsalgorithmen wird eine große Kriterienmenge berücksichtigt, welche von den Anwendungsbedingungen abhängen. Als Hauptkriterium ist in vielen Fällen die Zeit des Arbeitszyklus. Der Einsatz dieses Kriteriums führt zur Aufgabenstellung der optimalen Steuerung in der Schnellwirkung. Bei der Lösung der Aufgabe der optimalen Steuerung spielt die Forderung an die Dämpfung der Lastschwingungen und die verschiedenen Beschränkungen verallgemeinerter Koordinaten und deren Ableitungen, an die Positionierungsgenauigkeit. Deshalb ist es erforderlich, die Beschränkungen an dem Antriebsbetrieb zu unternehmen. Hieraus entstehen spezielle Aufgaben optimaler Steuerung, davon der Zielfunktion und den Beschränkungen abhängen.

Die Produktionsnutzbarkeit der Lasthebemaschinen kann außer der Automatisierung auch durch Geschwindigkeits- und Beschleunigungserhöhungen des Krans und dessen Mechanismen gesteigert werden. Mit Beschleunigungserhöhungen steigt jedoch die Amplitude der zu umlagernden Last mit Seilaufhängung. Daraus entsteht das Problem eines optimalen Steuerungsgesetzes für Kranmechanismen. Die Laufkatze mit der Last mit Seilaufhängung soll sich in einem gegebenen Abstand während der kürzesten Zeitspanne umlagern, und die Last soll am Ende der Bewegung nicht pendeln. Solches erreichen in der Praxis nur hochqualifizierte erfahrene Kranführer durch Manövrieren von Kranmechanismen durch die Hebelsteuerung. Aber mit Arbeitsverlängerung in einem intensivbetrieb erhöht sich die Müdigkeit des Operators, da die Schaltzahl der Mechanismen im Zyklus erreicht 50 [1].

Die Konstruktionen der Hebe- und Fördermaschinen (HFM) werden unaufhörlich vervollkommen, weswegen neue Aufgaben in den Berechnungen, der Projektierung, Forschung und Wahl optimaler Parameter für Maschinen, die hohe technisch-wirtschaftliche Kennziffern gewährleisten, entstehen. Deshalb wird ein bedeutender Platz den Fragen der Auslegungen der Dynamik der HFM durch die Forscher geräumt [2–4]. Diesen Arbeiten wird die Theorie der Lastschwankungen unter verschiedenen Einflüssen auf das Arbeitsorgan erörtert.

Es wird die Beschreibung der Ausrüstungen für Forschungen der Dynamik einiger Kran-arten angeführt.

Amplitudenminderung der Lastschwankungen wird durch die Einwirkung auf die Bremsseinrichtungen erreicht.

Die ersten Arbeiten in der Erarbeitung der Steuerungsweisen für Kranmechanismen gehören W.F. Sirotsky [5–7]. Ihnen zugrunde liegen natürliche Forschungen verschiedener Steuerungsweisen, die von den erfahrenen Kranführern bei ihrer Arbeit eingesetzt werden.

A.L. Aleiner, A.N. Orlov, L.B. Aksjonow schlagen vor, Lastschwankungen durch Einsatz räumlicher Aufhängungen zu dämpfen [8–13]. Es wurde bewiesen, dass die minimale Lotabweichung der Last bei den bestimmten Bedingungen durch zuständiges Seilauflegen erreicht werden kann.

In den Arbeiten von M.M. Perelmutter, Z.L. Geronimus, L.N. Poljakow [14–18] ist Synthesetheorie optimaler Steuerungsgesetze auf der Grundlage der Momententheorie ausgearbeitet worden. Die vorzuschlagende Betrachtungsweise besteht in folgendem. Es wird vorläufig das Schwankungsgesetz der Last bestimmt, bei dem technologische Arbeitsbedingungen des Krans und zwar die Bedingungen des Abklingens der Lastschwankungen zum Zeitpunkt des beschleunigten Laufens befriedigt und die Beschränkung, die durch den Elektroantrieb, hervorgerufen, berücksichtigt werden.

Das Schwankungsgesetz der Last wurde als Mehrglied approximiert, dessen Pofenz von Zahl der Bedingungen abhing, die auf dieses gesetzt aufgelegt werden.

Der Minimisierung unterlag die quadratische Mittelbedeutung der Ableitung hoher Ordnung einer Differentialgleichung, die einen Schwankungsvorgang beschreibt. Auf Grund

der Differentialgleichungen des elektrischen Antriebs wird aus dem gewonnenen Gesetz der Lastschwankungen das Gesetz der Geschwindigkeitsänderung für die Laufkatze bestimmt.

Ein erheblicher Beitrag zur Forschung optimaler Bewegungsvorgänge der Lasthebemaschinen mit einer biegsamen Lastaufhängung wurde durch die Arbeiten von N. Jerofejew gemacht [19–23]. In ihnen werden verschiedene Bauweisen der mathematischen Modelle für HFM erörtert sowie Steuerungsparameter und Optimierungskriterien begründet. Es werden mathematische Modelle der Theorie der optimalen Steuerung eingesetzt; Methoden der Variationsrechnungen, das Maximumprinzip von Pontrjagin, Methoden der dynamischen und linearen Programmierungen, die Methode des Momentenproblems und andere. Die gewonnenen Ergebnisse fanden ihre weitere Anwendung und Entwicklung in den Arbeiten von N.F. Subko und P.M. Strelzow [24–25].

In den Monographien von F.L. Tschernousjko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolow [26] wird das Problem der Steuerung für Pendelsysteme behandelt. In dieser Arbeit fand eine Reihe von Schlußfolgerungen ihren Niederschlag, die man schon früher gewonnen hatte [27–40].

A.T. Saremba entwickelte diese Richtung weiter [41–43]. Er gewann eine Reihe genauer Lösungen für typische Aufgaben der optimalen Umlagerung des Pendels unter verschiedenen Beschränkungen der Steuerungseinwirkung und der Phasenkoordinaten. Ein Teil dieser Lösungen findet wohl eine geringere praktische Anwendung. So zum Beispiel, das Steuerungsgesetz mit einer sprunghaften Geschwindigkeitsänderung des Punktes für die Lastaufhängung ist praktisch an einem Kran unmöglich zu realisieren.

Steuerungsgesetze für Portalkran, die für die Schaffung des automatischen Trainergeräts angewendet wurden, um junge Kranführer in Steuerfertigkeiten zu üben, waren in Arbeiten von W.A. Shichin und L.I. Kibrik [45–45] gewonnen worden. Aber der Einsatz gewonnener Gesetze an einem realen Kran ist wohl eine problematische Aufgabe, da der Einfluß der schwankenden Last auf die Bewegung der Drehmechanismen und auf die Änderung des Auslegers im Ausgangssystem der Differentialgleichungen nicht berücksichtigt wird.

Die Beseitigungsweise der Lastschwankungen beim Bremsen der Laufkatze durch die Stufenbremsmomente in drei Zeitspannen wurde von M.K. Runow [46–47] vorgeschlagen.

Es wurde dabei vorgeschlagen, daß der Bremsmoment in der zweiten Zeitspanne um zwei Mal größer ist als in der ersten und der dritten, und daß die Last am Bremsanfang nicht pendelt.

Das Prinzip des Maximums und die Methode der Phasenebene anwendend, formulierten A.A. Saretzky und N.I. Portnoj das optimale Gesetz der Steuerung [48–50]. Beim Ausnutzen eines Zweimassen-Kranmodells hat man analytische Abhängigkeiten für die Momente der Steuerungsumschaltung bekommen, die nach einem realen Gesetz gemessen wurden. Die Bewegungsbeanspruchung wurde als Steuerungsparameter eingesetzt. Als notwendige und obligatorische Bedingung war dabei das Fehlen der Lastschwankungen am Anfang des Anfahrvorganges.

In der Moskauer energetischen Hochschule wurden einige Steuerungsweisen für die Last mit Seilaufhängung durch die Steuerung des Bewegungsmechanismus entwickelt [51–53]. Das Anfahren des Bewegungsmechanismus wird aufeinanderfolgend im Laufe von drei Zeitspannen von der Anfangsgeschwindigkeit bis zur eingegebenen geschwindigkeitsverwirklicht. Die erste Zeitspanne ist der dritten gleich. Im Laufe dieser Zeitspannen wirkt die Hauptbeanspruchung auf den Bewegungsmechanismus ein. Die Periode der Eigenschwankungen der Last wird in den zwei ersten Zeitspannen ermittelt. Unter der Berücksichtigung der gemessenen Massen des Bewegungsmechanismus und der Reaktionskraft für die Umlagerung wird die erste Zeitspanne eingegeben. Auf den Umlagerungsmechanismus wirkt eine zusätzliche Beanspruchung ein, die die Reaktionskraft der Bewegung nach der Amplitude gleich und der Richtung entgegen ist. Die Gesamtlänge der ersten und der zweiten Zeitspanne ist der Halbperiode der Eigenschwankungen der Last gleich.

In der Kiewer Hochschule für Kraftfahrzeug und Straßenbau ist eine Weise für automatische Steuerung ausgearbeitet, welche nach dem Gesetz der unaufhörlichen Änderung einer im Laufe der Zeit steuernden Einwirkung (Beschleunigung eines Punktes der Lastaufhängung) im Laufe der Steuerungszeitspanne aufgebaut ist [54]. Es sind Abhängigkeiten für die Beschleunigung des Punktes der Lastaufhängung und die Parameter der Bahnkurven seiner.

Bewegungen erhalten, die das Erreichen der Steuerungsziele, das Dämpfen der Lastschwankungen beim Anfahren (Bremsen) der Laufkatze des Krans zu gewährleisten gestalten. Der Einsatz dieser Steuerungsweise läßt durch eine stufenlose (stoßfreie) Belastung des mechanischen Teils eines elektrischen Antriebs seine dynamische Beanspruchung vermindern.

In der Hochschule für Ingenieure der Seeflotte in Odessa werden Entwicklungsarbeiten der Methoden und Systeme optimaler Bewegungssteuerungen geführt [55–58].

In der Arbeit [59] wird ein mathematisches Modell eines Dämpfungssystems der Lastschwankungen an den Portalbrückenkränen angeführt. Eine normal geschlossene Bremse des Antriebs für Bewegungsmechanismus der Laufkatze oder des Drehteils spricht gleich nach der Abschaltung des Elektromotors an. Die Einführung von Einrichtungen mit einem kurzzeitigen Abschalten der Bremse des Mechanismus für die Umlagerung der Laufkatze in den Antrieb führt im Laufe einer bestimmten Zeitspanne zur Verschiebung des Schwankungszentrums des Systems in der Lastrichtung, zur Verminderung des Ausschlags und zu einer intensiven Dämpfung der Lastschwankungen. Die gemeinsame örtliche Veränderung der Last und der Laufkatze eines Brückenkrans oder des Drehteils eines Auslegerkrans wird durch ein elliptisches Pendels modelliert. Bei der Reduzierung der Masse an dem beweglichen Teil des Krans oder bei dessen Vergrößerung erfolgt die Verminderung des Schwankungsausschlages. Die 2–3 fache Reduzierung der Zeitverluste an der Dämpfung der Lastschwankungen führt zur Steigerung der Arbeitsproduktivität um 7–15 %.

Wie die Analyse der literarischen Quellen zeigt, wird einer Ausarbeitung der Weisen für eine optimale Steuerung der Kranmechanismen auch im Ausland eine große Aufmerksamkeit geschenkt.

In der Arbeit [60] schlagen bulgarische Wissenschaftler P. Jeksarov und B. Grigorow die Gewinnungsweise eines Steuerungsgesetzes für einen Kran mit der Dämpfung der Lastschwankungen in den Zeitspannen des Anfahrens und des Bremsens vor. Das Steuerungsgesetz wird durch die Wahl der zuständigen Koeffizienten einer optimalen Funktion, die in Form eines Polynoms in dritter Potenz geschrieben ist. Die treibende Kraft und die Kranbeschleunigung werden als Polynome in fünfter Potenz vertreten. Das gewonnene Vorgehen ermöglicht eine nur genäherte Lösung.

Die Berechnung eines Aufdrösselungsknotens mit Winkelgeschwindigkeit des Greifers, der eine Seilaufhängung an die Laufkatze des Greifer-Umladers hat, ist in der Arbeit vertreten. Der Kran wird für die Verladung der Schüttgüter aus dem Schiffsraum eingesetzt. Es wurde das mathematische Modell eines optimalen Steuerungsgesetzes zur Dämpfung der Lastschwankungen bezüglich der Schnellwirkung geschaffen. Zuerst eine Analyse der Änderungsmöglichkeiten genannter Größen am Ankerstrom des Elektromotors und unmittelbar an der Laufkatze gemacht. Es wurde angenommen, die ermittelten Angaben für die Schaffung eines Reglers anzuwenden, in dem der gemessene Ausschlagswinkel und die Winkelgeschwindigkeit des Greifers als Eingangsparameter eingesetzt werden würden. Aber die Analyse zeigte, daß die Änderung des Ankerstroms unzuverlässige Ergebnisse liefert. Es ist sehr kompliziert, die Messungen direkt an der Laufkatze zu überprüfen.

Es ist häufig unmöglich. Deshalb wurde eine neue Berechnungsweise dieser Größen auf der Grundlage eines mathematischen Modells des Krans mit der Geschwindigkeitsmessung der Bewegung der Laufkatze und der Hebegeschwindigkeitsmessung des Greifers in den Antrieben mit der Regelung der Umlauffrequenz der Elektromotorwelle vorgeschlagen. Dafür muß man die Anfangslage der Laufkatze und die anfängliche Seillänge kennen. Die Forschungen im Hamburger Hafen zeigten eine gute Übereinstimmung der gewonnenen mathematischen Abhängigkeiten mit experimentellen Angaben bezüglich eines Krans mit einer Hebekraft von 35 Tonnen. Die erhaltenen Schlußfolgerungen gestatten, Regler für die Dämpfung der Schwankungen und Steuerungssysteme von einem parametrischen Typ zu schaffen. Aber dieses Verfahren enthält Begrenzungen. Es ist dort einzusetzen, wo an die Genauigkeit der Positionierung keine hohen Forderungen gestellt werden.

In der Arbeit [61] werden ein Verfahren und die Einrichtung für automatische Kransteuerung angeführt. Die Ergebnisse sind von der japanischen Fa. Hitachi Ltd gewonnen und in der Deutschland patentiert worden. Das Verfahren gestattet, die Effektivität und Genauigkeit der Positionierung auf Kosten der optimalen Steuerung durch Bewegung und Dämpfung der Lastschwankungen zu erhöhen. Das Wesen der Methode besteht darin, daß die Winkelgeschwindigkeit der Laufkatze, der Abweichungswinkel des Seils und seine Winkelgeschwindigkeit anfangs gemessen werden. Danach wird die Beschleunigung der Laufkatze

ausgelegt, tatsächliche Werte gewonnener Parameter und Vergleichswerte gewonnener Parameter werden ausgewertet und mit den berechneten verglichen. Anschließend wird der optimale Befehl zur Regelung der Bewegung der Laufkatze ermittelt und ausgewählt.

Durch die Bildung von Automatisierungssystemen der Regelung von Antrieben oder Kranvorrichtungen während der Übergangsprozesse wird das Verfahren der Lastschwingungs-begrenzung beschrieben [62]. Die Länge des Lastaufhangers während der Horizontalumstellung des Wagens verändert sich. Es wurde das Schema von Differentialgleichungen der zweiten Ordnung für das Dynamikmodell mit zwei Massen bekommen, die mit Hilfe der Methode von Lagrange gelöst wird. Entsprechend der Methode verwirklicht sich die Lösung der Schwingungen am Ende der Anfahrens- und Bremsungstrecken des Wagens. Die Methode sieht auch das Bekommen der Korrigierungskraft bei der Wirkung der Windbelastung vor.

Im Jahre 1983 "Mannesmann Demag Fördertechnik GmbH" arbeitete das Verfahren der Kranbewegungsregelung mit der Schwingungslöschung am Ende der Bewegung aus. Der Antrieb wird mit Benutzung von Mikrocomputer bei der Veränderung des Abweichungswinkel des Seiles, der Last, der Bahn, der Aufhängerslänge und der Lastmasse geregelt. Das Verfahren ist auf der Lösung der Differentialgleichungen der Bewegung von der dritten Ordnung gegründet. Es ist auch in demselben Fall anwendbar, wenn sich die Lastaufhängerslänge bei der Arbeit des Kranes verändert. Im Regelungsprozeß werden in den Kreis folgende Meßgrößen getrennt eingeführt; die Umstellung und die Bewegungsrichtung des Kranes und des Wagens, der Abweichungswinkel der Last und ihre Masse.

Von der Schwedischen Firma "ASFA" wurden die Schutzdokumente (Patente) auf die Serie der ausgearbeiteten von ihr Verfahren der Steuerung von Greiferkranen bekommen. Entsprechend verwirklicht sich die Greifersausladung während der Bremsung des Wagens. Vor dem Beginn der Bremsung fehlen die Greiferschwingungen und entstehen wieder im Prozeß der Bremsung. Der Bremsungsprozeß besteht aus zwei Intervallen. Das erste Intervall ist der Hälfte der Periode von Greiferschwingungen mit Last gleich, und das andere – ungefähr in zweimal kürzer. Die Beschleunigungsgröße ist in diesen Intervallen auch verschieden. Der Greifer bremst am Ende des zweiten Intervalls. Wenn der Abweichungswinkel des Greifers von der senkrechten Achse in die Seite der Ausladung den größten Wert bekommt, ist seine Winkelgeschwindigkeit der Null gleich. In diesem Moment beginnt die Öffnung der Greiferskiefer zum Ausschütten der Last. Die Geschwindigkeit des Greifers reversiert sich auf die gegenseitige, und die Beschleunigung verändert das Vorzeichen. Der Abweichungswinkel des Seiles von der senkrechten Achse beginnt abzunehmen. Am Ende des zweiten Zeitintervalles sind der Winkel und die Winkelgeschwindigkeit der Null gleich. In diesem Zeitmoment schüttet sich die ganze Last in den Bunker aus, und der Greifer setzt die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit ohne Schwingungen fort. Dieses Verfahren erlaubt beträchtlich die Ausladungszeit zu verkürzen und die Arbeitsleistung des Greiferkranes zu erhöhen.

Von der technischen Hochschule in Magdeburg namens Otto von Guericke ist das Verfahren der Schwingungslöschung und der Positionierung der aufgehängten an dem Seil Last ausgearbeitet. Die Löschung von Lastschwingungen verwirklicht sich infolge der automatischen Steuerung des regelbaren Gleichstromantriebes mit der parallelen Erregung und Speisung vom Thyristor mit adaptiven Rückkopplungen. Im Prozessorsprogramm werden die Veränderungsgesetze des Wagenweges und der Geschwindigkeit seiner Bewegung vorgegeben. Nach der Berechnung verwirklicht sich die Regelung der Parameter. Die Ergebnisse der Modellierung des genannten Verfahrens an der analogen Elektronenrechenmaschine gaben den Endaßweichungswinkel des Seiles beim Anfahren und Bremsen gleich $0,4^\circ$. Als Ergebnis von durchgeführten Untersuchungen wurde das Versuchsmodell des Automatisierungskranes geschaffen.

Der verhältnismäßige Fehler der Methode im Vergleich zum analogen Modell betrug weniger als 7,6 %.

1.2. Огляд систем автоматичного керування кранами на основі мікропроцесорної техніки.

Übersicht von Systemen der automatischen Steuerung der Krane auf der Grundlage der Mikroprozessortechnik

Zur Zeit schenkt man große Aufmerksamkeit der Schaffung der vollkommen Steuerungssysteme, die in der Praxis verschiedenen Steuerungsgesetze zu verwirklichen erlauben. Die breite Benutzung der Computer zur Kransteuerung wurde die lange Zeit durch ihren hohen Wert und ungenügende Zuverlässigkeit begrenzt. Aber mit der Erscheinung von Minicomputer begann ihre breite Anwendung in Steuerungssystemen, und mit der Schaffung der Mikroprozessor (MP) wurde sich der Anwendungsbereich von Programmiermitteln schnell verbreiten. Bei der modernen Entwicklungsstufe von technischen Mitteln werden Computer, Mikroprozessorcontroller und Mikrocomputer als Bordsteuerungseinrichtung ausgenutzt. Es gibt ein bestimmtes Zurückbleiben in GUS – Ländern von entwickelten kapitalistischen Ländern im Bereich der Schaffung von Microprozessorsteuerungssystemen für Krane mit dem biegsamen Aufhänger hauptweise auf Grund des Fehlens von Spezialmikroprozessoreinrichtungen, die die strengen Betriebsbedingungen befriedigen.

In OIIMF wird das Microprozessorsteuerungssystem für einen Portalauslegerkran geschaffen. Es soll die Lastschwingungen unterdrücken (das Programm "Die Drehung"), die Windbelastungen berücksichtigen (das Programm "Der Wind") und Krane vor Überlastungen schützen (das Programm "der Schutz") [63].

In den GUS-Ländern beschäftigt sich man auch mit den Fragen der Schaffung von Automatisierungsantrieben [63–64].

In Lengiporetshtrans werden die Arbeiten in der Schaffung des Automatisierungssteuerungssystems für drei Brückengreiferkrane durchgeführt. Es wird sie im Flußhafen der Stadt Washino nutzbar zu machen geplant [65]. Im Leningradwerk PTO wird die Containerumschiffungseinrichtung für Meerhafen l/f 40 t durch die Einrichtung für automatische Steuerung ausgerüstet [66]. Diese Einrichtung erlaubt die Genauigkeit und Arbeitsleistung der Umschiffungseinrichtung infolge der Automatisierung der Operation im Richten des Ladegreifers zum Container zu erhöhen. Diese Parameter der Umschiffungseinrichtung werden auch infolge der genauen Positionierung und Vorbeugung von Schaukeln des Ladegreifers erhöht. Die Einrichtung erlaubt die Betriebsgeschwindigkeiten zu regeln.

In Mariupol auf PO "Tjashmasch" werden die Arbeiten in der Schaffung des Bordmikrocomputer geführt, mit dessen Hilfe die Greiferbunkerladeeinrichtung die Arbeitsleistung 750 t/Uhr bekommen wird [62]. Einige ausländischen Firmen (USA, Japan, Deutschland) brachten die Erzeugung von Automatisierungskranen verschiedener Verwendung in Gang. Die Arbeiten in ihrer weiteren Vervollkommnung werden fortgesetzt.

Die deutsche Firma "Mannesmann Demag Fördertechnik" arbeitete das Automatisierungssteuerungssystem für den Brückenkran mit dem Greifer aus, das sich die automatische Versetzung zum notwendigen Punkt der Positionierung verwirklicht. Der Kran ist mit Drehstrommotor mit Käfigläufer für die Regelung der Frequenz der Wellendrehung ausgerüstet. Mit Hilfe des Mikrocontrollers verwirklicht sich die gesamte Steuerung der Versetzungen. In solcher Weise werden optimale Parameter des Anfahrens und der Bremsung des Kranes erreicht. Die Geschwindigkeit der Kranumsetzung, des Wagens in Arbeitsregime und der Frequenz von Elektromotorendrehen werden nach Signalen von Impulsgebern geregelt. Die Kranversetzung zum Positionierungspunkt verwirklicht sich im automatischen Regime mit Geschwindigkeiten, die die Werte des Handregimes der Steuerung auf 50 % übersteigen. Das führt zur Vergrößerung der Arbeitsleistung. Das Programmieren des Zyklus von Kranarbeiten verwirklicht sich im Unterrichtsregime.

Die andere deutsche Firma Krupp Industrie und Stahlbau wendet für luftberefte Bockkrane dreistufige Automatisierungs- Steuerungssysteme an [73]. Krane wenden sich auf den automatisierten Umladeplätzen für Container an. Hier sind zwei Rechner mit Reihenschaltung aufgestellt, einer von denen das Arbeitsprogramm vorgibt und der anderer – die direkte Steuerung der Positionen und Bewegungen von Kranmechanismen verwirklicht und die Angaben über Lasten registriert. Mit Hilfe des induktiver Systems verwirklicht sich die Verbindung zwischen Zentral- und Bordrechnern. Die Stromführer sind in Röhren die Kranbahnen entlang gelegt. Die Kräne sind mit dem verdoppelten Verbindungssystem ausgerüstet. In der Kabine des Operateurs – Kranführers ist ein Display aufgestellt. Nach dem Signalzeichen, das vom Zentralrechner eingeht, verwirklicht sich das Einschalten des automatischen Regimes der Kranarbeit.

Die Genauigkeit der Aufstellung des Greifers über der Last wird mit Hilfe der Geber erreicht, die auf dem Versetzungsmechanismus und auf dem Lastwagen gestellt sind. Die Arbeitsmechanismen werden von Gleichstrommotoren mit Thyristorsteuerung oder nach dem System Generator – Motor angetrieben. Das System der Schwingungsbegrenzung mit Last schließt hydraulische Dämpfer und nachträgliche geneigte Seilzurückziehungen ein. Die letzten sind auf der Windtrommel gewunden und drehen sich zusammen mit ihr synchron.

Im Nikolajew Tonerdewerk werden automatische Brückengreiferumladeeinrichtungen von der Firma "Krupp" nutzbar gemacht [74]. Mit Hilfe des elektronischen Steuerungssystems wird das Verfahren der Löschung von Greiferschwingungen nach der Schwingungsperiode durchgeführt. Im Laufe der Zeit, die der Periode von freien Schwingungen der Last gleich ist, wird die ständige Beschleunigung des Lastwagens in den Abschnitten des Anfahrens und der Bremsung aufrechterhalten. Am Ende der Bewegung fehlen die Lastschwingungen.

Firma "MAN Gutehoffnungshütte GmbH" (Deutschland) [75] arbeitet das System des freien Programmierens für die Hafenumladeeinrichtung mit Greifer aus. Es gewährleistet die automatische analoge Steuerung des Antriebs von Greiferversetzung. Infolgedessen wird der Antrieb von Greiferversetzung verwirklicht. Infolgedessen verwirklicht sich die Greiferversetzung nach der optimalen Trajektorie. Die Information über die Lage und den Zustand des Greifers wird in der Kabine des Operators zum Display zugeführt. Es ist die Übereinstimmung der Hand- und Automatisierungssteuerung vorgesehen, d.h. es gibt die Möglichkeit der Berichtigung des Überladungsprozesses (zu große Last).

Das System besitzt den Schutz vor Überlastung und Zusammenstoßen der Umladeeinrichtung mit Störungen. Die mittlere Arbeitsfähigkeit der Umladeeinrichtung beträgt 850 t der Kohle in der Stunde. Das ist ungefähr 80% von der theoretischen Größe.

Das System der "intellektuellen" Steuerung von Hafenumlade – Einrichtungen arbeitet von der Firma "Hitachi Ltd" aus [76]. In der Grundlage der Ausarbeitung liegt die Idee der Wiedergabe des Denkprozesses von Operator mit Hilfe des Rechners.

Die theoretischen Voraussetzungen des Verfahrens waren in der Mitte 60-er Jahre bekommen, und die Anwendung im Betrieb – im Jahre 1979. Das Steuerungsprozeß besteht aus der Berechnung und der Regelung aller Ansichten der Kranbewegung, die die optimale.

Geschwindigkeit der Bewegung bei der Inbetriebnahme und Bremsung und auch die Sicherstellung der Lastversetzung in optimalen Trajektorien einschließen. Das System ist mit dem Dämpfer komplettiert. Die Benutzung solches Steuerungsverfahrens erlaubt die Arbeitsfähigkeit der Verladungsarbeiten auf 50 % zu erhöhen.

Aber die Benutzung solches Systems für Krane auf den Hafenterminalen ist mit bestimmten Schwierigkeiten verbunden, die in der Notwendigkeit der Modernisierung der Konstruktion von Hafen Umladeeinrichtungen und selber Schiffe bestehen. Außerdem die Steuerung schließt das vollständige Fehlen des Operators auf dem Kran nicht aus, obwohl es schon Beispiele der Benutzung des Systems auf den Kranen in Betriebsabteilungen gibt.

Die japanische Firma "Nippon Kokan K.K." rüstete im Jahre 1979 einen von der Brückenkrane mit L/f 40t für den metallurgischen Betrieb mit dem System für automatische Programm-Steuerung aus. Zum Steuerungssystem wurden folgende Forderungen gestellt:

- die Genauigkeit der Lastpositionierung muß nicht weniger als 50 mm sein;
- die Notwendigkeit der minimalen Abhängigkeit des Steuerungsalgorithmus von der Lastmasse, der Länge des Umstellungsweges, der Abweichungen im Prozess der Förderung;
- die Verminderung der Zeit der Lastförderung.

Der Grundbestandteil des Steuerungssystems ist das Vorhaben der Rückverbindung für die Verzeichnung, Förderungen und andere Charakteristiken des Kranes. Das Ziel des Steuerungssystems besteht in der Erhöhung der Genauigkeit der Positionierung und der Löschung der Lastschwingungen bei ihrer Förderung. Mathematisch wird es durch das System von Differentialgleichungen beschrieben, und konstruktiv – schließt einen Mikroprozessor und einen Geberkomplex für Messen der Abweichungswinkel der Seile von der Vertikale, der Geber von der Lage des Greifers, der Geber der Geschwindigkeiten u.a. ein. Die Benutzung des Systems versorgt eine effektive Schwingungslöschung, und auch die Genauigkeit der Lastaufstellung. Aber die Zeit, die für die Lastförderung mit der Benutzung des Systems notwendig ist, erhöht die Zeit bei der Handsteuerung fast in 1,3. Das erklärt sich für die Möglichkeit der Vereinigung der Arbeitsbewegungen der Last bei der Hangsteuerung.

Die amerikanische Firma "Columbus Mc Kinnon Corp." meisterte die Erzeugung von Microprozessorsteuerungssystemen für Kranelektroflaschenzüge l/f bis 3 t. Das System versorgt eine hohe Genauigkeit der Positionierung infolge Kleiner Geschwindigkeit von Niederlassen der Lasten und schließt die Möglichkeit der Überladung oder der Überhitzung seiner Quoten.

Von Automatisierungssystemen der Steuerung, Prüfung und Diagnostik werden auch die Flaschenzüge des bulgarischen Betriebs ausgerüstet [67]. Das Steuerungssystem für den Flaschenzug EA-10438 gewährleistet: die Begrenzung der Lastschwingungen durch fließende Veränderung der Frequenz der Motorrotordrehung von der Förderungseinrichtung in Abhängigkeit von der Masse der hebenden Last und von der Höhe des Hebens; die Aufgabe des Konkreten Marschweges der Förderung; die ständige Lastprüfung und die Abschaltung der Hebeeinrichtung bei der Vergrößerung der Belastung auf 5 %.

Die ausführliche Analyse des Fragezustandes in automatisierungskranen behalten die Arbeiten von TSNITJASHMASCH [68–69].

Die Übersicht der Antriebsarten zusammen mit dem Problem der Löschung von Lastschwingungen ist in der Arbeit angeführt. In der Tabelle 1.1, die dieser Arbeit mit kleineren Abkürzungen entnommen ist, sind die Antriebe angeführt, auf denen es das Problem der Löschung von Lastschwingungen nach dem Zustand in der Welt auf das Jahr 1986 zu lösen oder nein gelang.

Daraus folgt, daß zur Verkleinerung des Anhaltens der Zeit von Lastbearbeitung und zur Erhöhung der Genauigkeit von Positionierung große Bedeutung die Fragen der Antriebs-

regelung gewinnen, die als Bestandteil des gesamten Problems der Optimalsteuerung von Kranbewegung und seinen Mechanismen sind. Die Gewährleistung der hohen Genauigkeit der Positionierung und der Schnellwirkung wird infolge fließender Regelung und der Bremsung von Mechanismen erreicht. Zu diesem Zweck kann man die vierquadratische Regelung benutzen, d.h. der Antrieb soll mittels des Regelungssystems in beliebiger Bewegungsphase mit guter Dynamik der Regelung von Frequenzdrehung kontrolliert werden. Die Ausführung solcher Regelung wird mittels der Erhöhung des Automatisierungsgrades infolge der Benutzung von Mitteln der Programmsteuerung, Steuerungsrechenmaschinen und Mikro-prozessorerreicht.

Die Zeit der Verlade- und Ausladearbeiten kann man durch die Vereinigung der Arbeitsbewegungen, durch die Wahl der kürzesten Förderungsbahn, durch die Verminderung der Zeit von Lastschwingungen.

Der letzte Faktor ist einer der Basisfaktoren, die der Zykluszeit vergr ern.

Die Untersuchungen in dieser Richtung sind mit der Realisierung der Geschwindigkeits-optimale Betriebsweisen der automatischen Steuerung den Verschiebungsmechanismus der Laufkatze und den Fördermechanismus des Greifers verbunden.

Betrachten wir die Ausnutzung der negativen Rückkopplung nach dem Abweichungswinkel des Lastes. Die Idee von diesem Prinzip der automatischen Steuerung mit Schwingungsdämpfung des Lastes besteht in der Einführung eines zusätzlichen Regelungskreises nach dem Abweichungswinkel des Lastes, Abb. 1.1. Das Ziel der Regelung ist die Verkleinerung der Lastschwingungen.

Die Laufkatze fing der Bewegung bei dem Empfang des Signals P_R an.

An den Verstärker AP wird das Signal der tatsächlichen Verschiebung P_F übergeben. Die Laufkatze wird in der Bewegung sein bis die Parametern DP und PS die Bewegungsrichtung bestimmen. Bei der Beschleunigung begann der Last zu abweichen. Die negative Rückkopplung verursacht die Verkleinerung der Geschwindigkeit der Beschleunigung. Um die Einwirkung der negativen Rückkopplung zu verkleinern, ist ein Element mit der Unempfindlichkeitszone D_S eingeführt. Er erzeugt ein Ausgangssignal, das proportionell zu der Aufschaukelgröße ist.

Ist das Systemaufschaukeln P_S nicht große, so wird das Steuerungssystem in den Elektromotor nicht eingeschaltet, und M wird durch das Geschwindigkeitsregelungssystem beschleunigt. Ist die Aufschaukelgröße größer als der vorgegebener Wert, so werden die Lastschwingungen durch das Regelungssystem zu vergleichen und zu verkleinern. Funktional-generator FG regelt dabei die Unempfindlichkeitszone des Elements D_b . Die Ausgangswert des FG verbindet sich auf solche Weise mit dem vorgegebenen Wert DP : er bleibt unveränderlich bei der Überschreitung von DP , verkleinert sich bei der Verkleinerung von DP und wird gleich Null sein bei $DP = 0$.

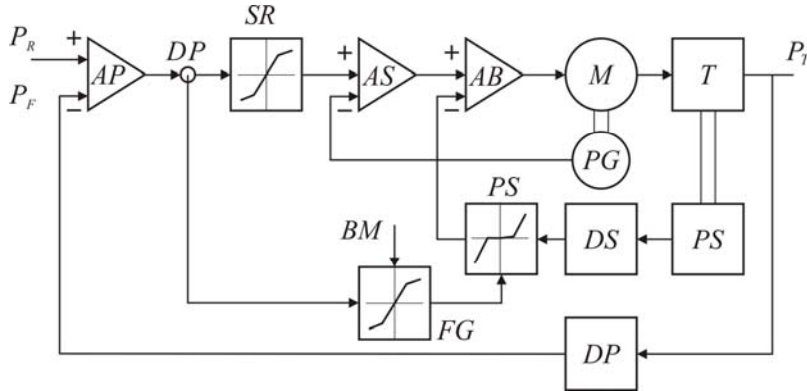


Abb. 1.1. Schema der automatische Steuerung mit negative Rückkopplung mit zusätzliche Steuerungskontur:

P_R – vorgegebene Laufkatzenweg; P_F – tatsächliche Laufkatzenweg; AP – Operationsverstärker; SR – Relaischarakteristikelement; AS – Geschwindigkeitsregler; M – Laufkatzenverrückungsmotor; PG – Geschwindigkeitsgeber; T – Laufkatze; PS – Schwingungssystem "Laufkatze – Last"; DS – Neigungswinkelgeber; DB – Verstärker mit regelbarer Unempfindlichkeitszone; AQ – Operationsverstärker des Schwingungsreglers; FG – Funktionsgenerator; DP – aufkatzenlagegeber

Im Steuerungssystem ist es der Abweichungswinkelgeber. Es kann einen mechanischen Hebel sein, der mit dem Seil verbunden ist. Der Hebel des Gebers wirkt auf das Wechselregister, Selsyn, welches mittels Transformator oder Wechselwiderstand geregelt ist. Die Polarität des Signals wechselt sich beim Übergang des Lastes über den Gleichgewichtszustand.

Verweilen wir auf solche Organisationsweise des Abweichungswinkelgebers. Der Abweichungswinkel des Lastes von der Vertikale wird indirekt durch eine Reihe von elektrischen Parametern des Laufkatzenantriebs und Fördermechanismus. Die Gleichgewichtsgleichung der auf der Laufkatze wirkenden Kräfte:

$$F_1 - W - m_K b_K - F_Z \sin j = 0,$$

dabei F_1 – Antriebskraft der Laufkatze; W – Reibungswiderstandskraft; m_K – Laufkatzenmasse; b_K – Laufkatzenbeschleunigung; F_Z – auf dem Fördermechanismus wirkende Kraft; j – Lastabweichungswinkel von der Vertikale.

Kraft die Winkel sehr klein sind, kann man annehmen:

$$\sin \varphi \cong \varphi \cong \frac{F_1 - (W + m_K b_K)}{F_2}.$$

Dabei sind die Kräfte F_1 und W direkt proportionell zu der Ankerstromstärke J_1 , und die Kraft F_2 – zu der Ankerstromstärke des Fördermechanismus J_2 .

Die Laufkatzenbeschleunigung ist durch die Differenzierung der Drehzahl des Laufkatzenantriebs. Die Genauigkeit des Me Schemas des Abweichungswinkels mit der Operationsverstärker ist niedriger, als die Genauigkeit des Kontaktgebers.

Bei der gleichbeschleunigte Bewegung der Laufkatze bestimmen sich der Abweichungswinkel j und die Periode der Schwingungen T durch:

$$\varphi = -\frac{a}{g}(1 - \cos \omega t), \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g} K_m}, \quad K_m = \frac{M}{M + m},$$

dabei a – die Laufkatzenbeschleunigung; g – die Fallbeschleunigung; L – Seillänge; M, m – Laufkatzen- und Lastmasse.

Wie kann man an der Abb. 1.2 sehen, falls die Zeit der

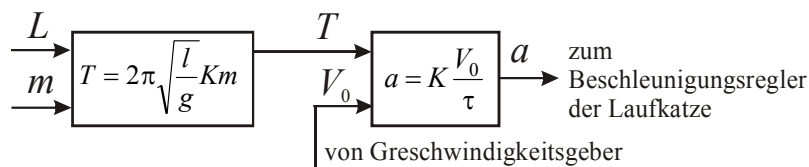


Abb. 1.2. Schema der automatische Steuerung für Schwingungsdämpfung bei Koinzidenz des Laufkatzenbewegungszeitens (beschleunigte Bewegung) mit ganze Zahl der Schwingungsdauer:

L – Seillänge; M, m – Laufkatzen- und Lastmasse; T – Schwingungsdauer;

V – Laufkatzen Geschwindigkeit; a – Laufkatzenbeschleunigung; g – Erdbeschleunigung;

K_m – Massenkoeffizient

Laufkatzenbewegung teilbar durch die ganze Zahl der Schwingungsperioden ist, so entfallen die Lastschwingungen, d.h.

$$\Phi_0(0) = \Phi(KT),$$

wo $K = 1, 2, 3, \dots, n$.

Dieses Steuerungsprinzip ist in den Umlader der Firma "KRUPP" realisiert. Drei solche Umlader mit Tragfähigkeit 40 t und Leistungsfähigkeit 1200 t/h wurden schon 1979 im Flughafen des Tonerdewerks im Nikolajew (Ukraine) aufmontiert. Sie umladen die Tonerde von der chifflader ume an das Ufer.

Es ist Thyristorenantrieb des Laufkatzenverschiebungsmechanismus angewendet. Ist auch automatische Betriebsart möglich. Die Steuerung wird mittels den Analogrechner realisiert.

Das Schwingungsdämpfungsschema, die auf zwei Operationsverstärker ausgeführt ist, realisiert die Funktionen, die auf der Abb. 1.2 dargestellt sind.

Es gibt ein anderes Prinzip der Schwingungsdämpfung, das auf der Anpassung der Zeit mit der Periode der Lastschwingungen. Das Diagramm der Laufkatzenbewegung, das diesem Prinzip entspricht, ist auf der Abb. 1.3 dargestellt.

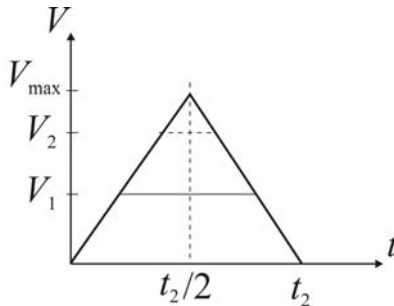


Abb. 1.3. Schema der automatische Steuerung für Schwingungsdämpfung durch Übereinstimmung des Bewegungszeit mit Schwingungsdauer des Lastes:

V_{\max} – maximale Laufkatzen Geschwindigkeit;
 t_2 – Laufkatzenbewegungszeit

Die Laufkatzenbewegung besteht aus drei Stufen: Beschleunigung, Nenngeschwindigkeitsbewegung, Bremsen. Die mittlere Stufe kann entfallen. Die Zeit t_2 ist teilbar durch die ganze Zahl der Schwingungsperioden des Lastes. Minimalwert:

$$t_{2\min} = 2T = 4\pi\sqrt{\frac{L}{g}K_m}.$$

Durch variieren den Geschwindigkeitswert auf der mittleren Stufe kann man verschiedene Lastverschiebungen zu bekommen. Dieses Verfahren kann man einfach zu realisieren, aber es hat seine Nachteile. Auf der Abb. 1.4 ist die Konstruktion des.

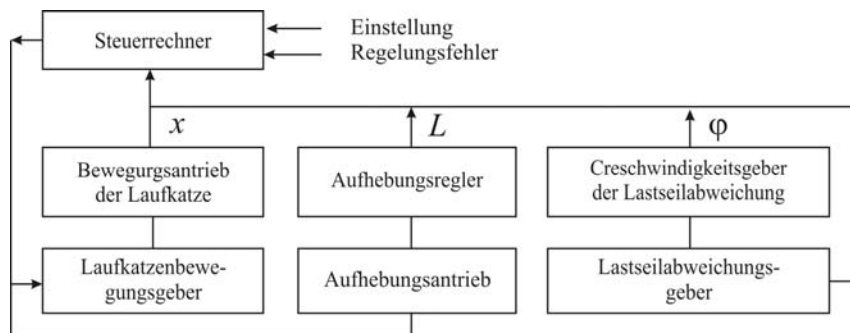


Abb. 1.4. Strukturschema der Laufkatzenbewegungsteuerung und der Lasthebung auf der Steuerrechner-Basis (SB):

x – Laufkatzenbewegung; L – Lastaufhängelänge; φ – Seilneigungswinkel

Umsteuerantriebs der waagerechten Lastverschiebung mit den Steuerungsgeber. Die Steuerung entspricht den Kurven der Abb. 1.5. Die Beschleunigung der Laufkatze besteht aus eine Stufe: $t_1 - t_0$.

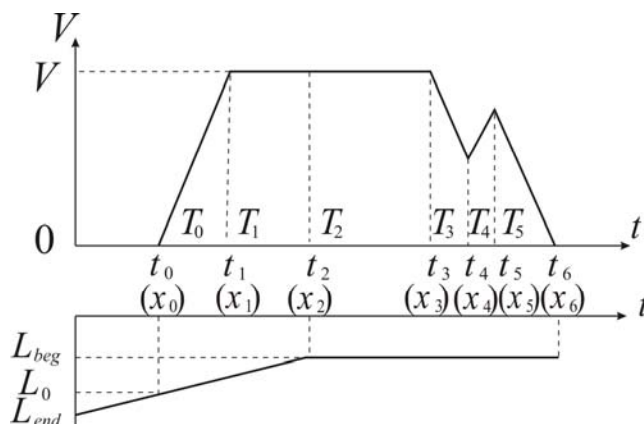


Abb. 1.5. Schaubild der Steuerung der Laufkatzen- und Lastbewegung durch Steuerrechner (SR):
 V – horizontale Geschwindigkeit der Laufkatze; L – Seillänge

Stationäre Bewegung verwirklicht sich mit der konstanten Geschwindigkeit V_{\max} . Das Bremsen verwirklicht sich in drei Stufen: $t_1 - t_3$, $t_5 - t_4$, $t_6 - t_5$. Während des Zeitintervalls $0 - t_2$ verkleinert sich die Länge L bis zu L_{KOH} , und während des Zeitintervalls $t_2 - t_6$ bleibt L konstant. Die Zeitverzögerung der Laufkatze ist nötig, um der Greifer kann aus dem Schiffsladeraum hinauszugehen. Die Anpassung der veränderlichen Bedingungen verwirklicht sich mittels Änderung des Zeitintervalls $t_0 - t_6$. Es wird solche Weise der Zeitaugenblickebestimmung vorgeschlagen: am Anfang der Bewegung ist die Zeit willkürlich eingegeben, im Zeitpunkt t_6 ist die Fehlanpassung der Werte:

$$L, X, j, \dot{\phi},$$

zu analysieren. Im Weiteren ändert sich die Zeit auf solche Weise, um die Fehlanpassung zu verkleinern. Der Zyklus wiederholt sich bis die Fehlanpassung nicht den zulässigen Wert überschreitet. Die obengenannten Maßnahmen sind auf dem Modell mit Hilfe des Steuerrechners durchgeführt.

Betrachten wir die Einrichtung, die auf der Abb. 1.6 dargestellt ist.

Die Kurve der Geschwindigkeit V , die von dieser Einrichtung ausgearbeitet ist, ist auf der Abb. 1.7 dargestellt.

Das Geschwindigkeitssignal ist an den Verstärker 5 und ferner an den Thyristorwandler 3 übergeben. Der Verstärker 5 hat eine negative Rückkopplung nach der Geschwindigkeit. Der Unterschied der Signale ist proportional zu dem Wert, der den Elektromotor der Laufkatze steuert. Die Einrichtung 10 hat dem Signal der Lastabweichung von der Vertikale ausgearbeitet. An dem Verstärker 9 ist die Vergleichen des berechneten und tatsächlichen, der von Seilabweichungswinkelgeber 8 ankommenden, Winkelwerts durchgeführt. Im Weiteren wird das Fehlanpassungssignal an den Verstärker 5 übergeben. Der

geometrischer Ort der Werte des Astabweichungswinkels auf der Phasenebene kann man mit Hilfe Abb. 1.8 bestimmen.

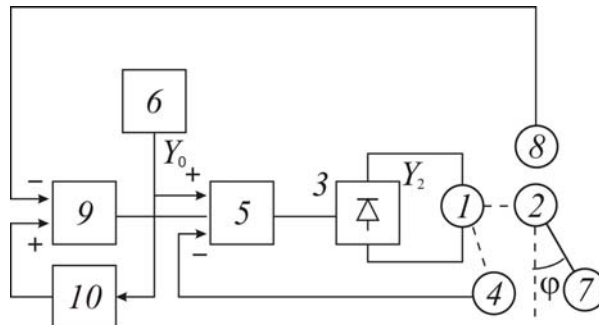


Abb. 1.6. Strukturschema der automatische Steuerung mit Thyristorumformer und Rückkupplung:

- 1 – Elektromotor für Querbewegung der Laufkatze;
 2, 3 – Thyristorumformer; 4 – Tachogenerator; 5, 9 – Verstverkehr;
 6 – Programmeinrichtung für Beschleunigung/Verzögerung der Querbewegung;
 8 – Eilneigungswinkelgeber; 10 – Lastneigungmodellierte Schema

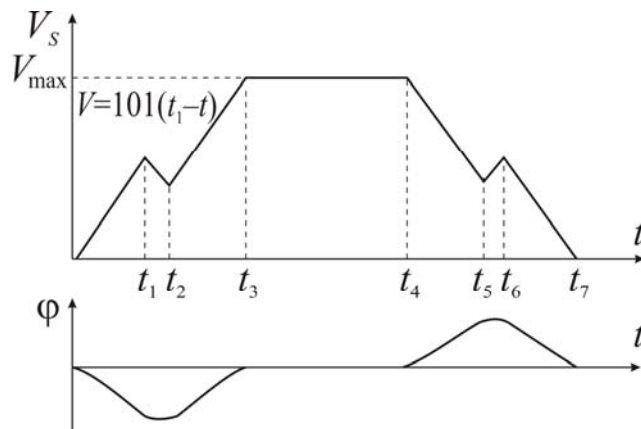


Abb. 1.7. Schaubilder der Steuerung der Laufkatzenbewegung dem Seilneigungswinkel nach:
 V – Laufkatzengeschwindigkeit; φ – Seilneigungswinkel

Die Anwendung der geschwindigkeitsoptimale Steuerung verursacht die Ausnutzung auf dem Kran eines komplizierten nonlinearen Regler. Als solcher Regler kann man den Analogrechner oder den numerischen Rechner anwenden.

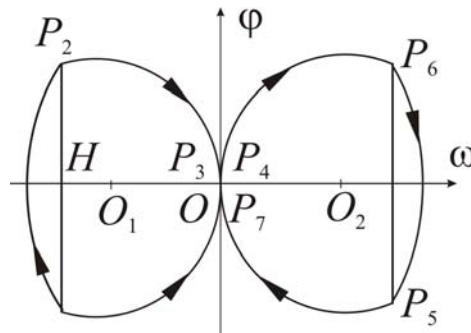


Abb. 1.8. Geometrischer Ort des Seilneigungswinkel auf der Phasenebene:

φ – Seilneigungswinkel; ω – Winkelgeschwindigkeit der Lastbewegung

So, die Anwendung auf den Kräne der Mikroprozessortechnik erlaubt die Lösung von solchen Aufgaben:

- die Realisierung der komplexen Steueralgorithmen;
- die Schaffung der flexiblen Änderungssystem für die Steuerungsgesetze;
- die Erhöhung der Zuverlässigkeit des Steuerungsystems und Gewährleistung ihrer Selbstdiagnostik;
- die Kostenverleinerung des Steuerungsystems.

Die Kontrollfragen 1

1. Fassen Sie bitte in Worte die Aufgabe der Optimalregelung von der Hebe- und Fördertechnik.
2. Welche Vorteilen sichern die Gesetze der Optimalregelung von der Hebe- und Fördertechnik.
3. Erklären Sie bitte die Definitionen: Steuerparameter, Anfangsbedingungen und Grenzebedingungen.
4. Nennen Sie bitte die Begrenzungen für die Gesetze der Optimalregelung von der Hebe- und Fördertechnik.
5. Beschreiben Sie bitte Vorteilen und Nachteilen des Steuerungstyps gemäß der Koordinierung von der Anfahrzeit und Auslaufzeit der Laufkatze mit dem Schwingungsdauer der Last auf das flexible Aufhängen.

2. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ШВИДКІСТЮ ЗАКОНІВ КЕРУВАННЯ ДЛЯ МОСТОВИХ КРАНІВ. ERARBEITUNG DER GESCHWINDIGKEITSOPTIMALEN STEUERUNGSGESETZE FÜR BRÜCKENKRÄNE

2.1. Вступ до оптимального керування кранами з гнучким підвісом вантажу.

Einleitung in die optimale Kransteuerung mit flexiblem Lastaufhängen

2.1.1. Постановка задачі. Aufgabestellung

Das flexible Lastaufhängen stellt sich ein Faktor dar, der wesentliche Schwierigkeiten in der Kransteuerung verursacht und der zu den wesentlichen Zeitverlusten, schnellen Ermüdung des Kranfahrers bei der intensiven Überladung der Massenlaste, bei der Einbringen des Betons führt usw. Oft entstehen auch Havariesituationen.

Der Abweichungswinkel des Lastseiles von der Vertikale überschreitet gewöhnlich 8° nicht. Aber er kann auch 17° erreichen, was ist von verschiedenen Faktoren verursacht, wie besonders dynamische Antriebseigenschaften und Phasenkoordinaten des Lastes bezüglich des Aufhängenpunktes vor dem Anfang der Beschleunigung oder des Bremsen. In der Regel ist ein genaue Zielrichten nötig: auf dem Waggon, auf dem Schiffsladeraum, auf dem Bunker. Darüber hinaus, beträgt das zulässige Lastschaukeln im Endpunkt der Bewegung 5–10 cm, und für die Hüttenkräne – 3–5 mm.

Erfahrener Kranfahrer kann die Lastschwingungen im vorgegebenen Punkt erfolgreich dämpfen durch die Reihenfolge der Beschleunigungs- und Bremsenbefehle für die Laufkatze (für den Kran). Doch bei der Handsteuerung gelingt man nicht die Zeitverluste des Lastdämpfen und des genaueren Positionieren zu minimisieren.

Die Aufgabe der Gewinnung der geschwindigkeitsoptimalen Bewegungsgesetze und deren Realisierung auf dem Kran durch die Automatisierungsmitteln ist sehr aktuell. Grundsätzlich kann man diese Aufgabe so formulieren: es ist solch ein Steuerungsgesetz zu gewinnen, bei dem der Last wird in den vorgegebenen Punkt verschiebt ohne Schwingungen bei der Zyklusende, bei minimaler Zeit und bei der Ausführung der vorgegebenen Begrenzungen.

2.1.2. Короткий огляд законів керування. Kurzübersicht der Steuerungsgesetze

Das einfachste Steuerungsgesetz basiert sich auf der Lösungen der Differentialgleichungen, die die Bewegung des mathematischen Pendels mit gleichbeschleunigt, geradlinig bewegender Aufhängungspunkt beschreiben. Nehmen wir an, daß der Last vor dem Anfang der Bewegung befindet sich in der Ruhe (es gibt keine Schwingungen). Im solchen Fall muss der Aufhängenpunkt (die Brücke oder die Laufkatze) während der Beschleunigung oder des Bremsen eine gleichbeschleunigte Bewegung vollführen und zwar im Laufe der Zeiträume, die gleich oder mehrfach der Eigenschwingungenperiode des Pendels sind (Abb. 2.1, a). Die Dauer der Stufe der stationären Bewegung ist durch die Entfernung der Verschiebung der Laufkatze (der Brücke) bestimmt.

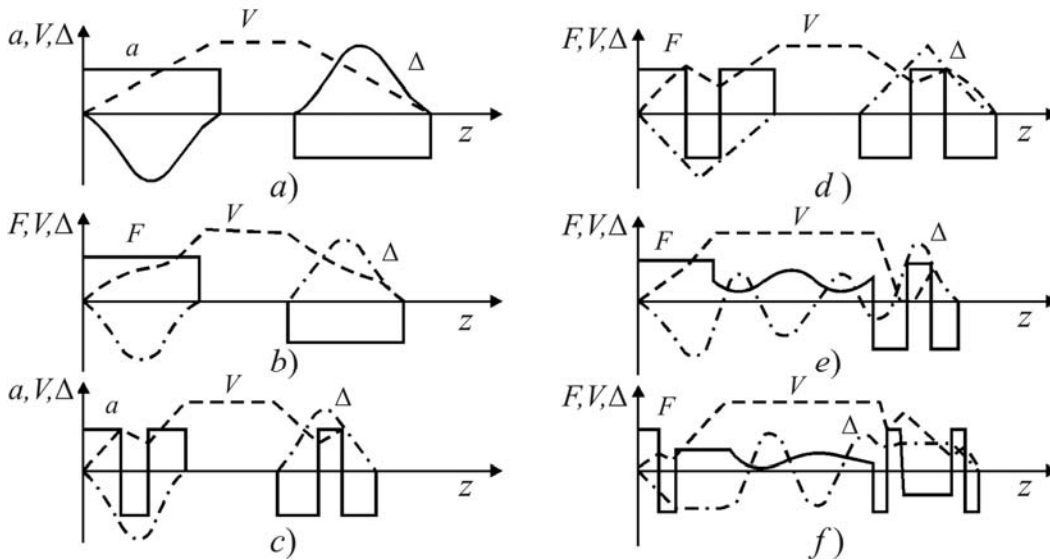


Abb. 2.1. Steuerungsgesetze:

- a – die Steuerung nach der Schwingungenperiode;
- b – die Steuerung nach der bewegenden Kraft;
- c – dreistufiges Steuerungsgesetz nach der Beschleunigung;
- d – dreistufiges Steuerungsgesetz nach der bewegenden Kraft;
- e – Steuerungsgesetz ohne Seilabweichungswinkelbegrenzung;
- f – Steuerungsgesetz mit Seilabweichungswinkelbegrenzung;
- F – die bewegendende Kraft;
- V – Laufkatzensgeschwindigkeit;
- a – Beschleunigung der Laufkatze;
- Δ – Lastabweichung

Solch eine Art der Steuerung hat eine Reihe von Nachteilen:

- sie ist nicht geschwindigkeitsoptimal. Auch bei den Antrieben mit hohen dynamischen Eigenschaften sind die Zeiten der Beschleunigung und des Bremsen tatsächlich durch die Lastaufhängenlänge bestimmt. Je größer diese Länge ist, desto größer sind die Zeitverluste auf den Übergangsstufen. Dabei ist die Verkleinerung der Zykluszeit unmöglich;
- sie ist unverwendbar für die Lastverschiebung auf den kleinen Entfernungen, weil die Beschleunigungs- und Bremsenstufen einen bestimmten Zeitwert nicht unterschreiten. Die Verschiebung der Laufkatze (der Brücke) kann nicht kleiner sein als ein Wert, der durch die Aufhängenlänge und Beschleunigung der Laufkatze bestimmt ist. Es ist möglich, diese Minimalentfernung zu verkleinern durch die Verkleinerung der Laufkatzenbeschleunigung, aber das verursacht noch größere Zeitverluste;
- auf den Übergangsstufen muß die Lastaufhängenlänge konstant sein, also ist die Laufkatzenverschiebung gemeinsam mit Lastheben oder Lastsenken unmöglich. Und solche Vereinbarung ist ein wesentlicher Faktor der Leistungssteigerung;
- um die konstante Beschleunigung zu gewährleisten, muß man einen teureren Antrieb (z.B. Thyristor- oder Hydrovolumenantrieb) auf dem Kran einrichten.

Aber wegen seiner Einfachheit ist die Steuerung nach der Lastschwingungsperiode sehr anwendbar. Sie ist in der mikroprozessorgesteuerten automatischen Greifer-Umlader von Fa. "Krupp" mit Tragfähigkeit von 40 t, die eine Leistungsfähigkeit von 400 t/h im automatischen Betrieb gewährleisten, angewandt. Aber auch mittelqualifizierte Kranfahrer kann eine höhere Leistungsfähigkeit im Handsteuerungsbetrieb gewährleisten, hauptsächlich durch effektivere Dämpfung der Greiferschwingungen.

Noch eine einfache Art der Lastschwingungendämpfung, mit bewegender Kraft als Steuerungsparameter (Abb. 2.1), fand eine breite Anwendung. Diese Art besteht darin, daß an der Laufkatze (an der Brücke) auf der Beschleunigungs- oder Bremsenstufe muß man eine konstante bewegende Kraft anlegen im Laufe der Zeit

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g} \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)},$$

wo T – Zeit der Beschleunigung und des Bremsen; L – Lastabhängenlänge; m_1 – Masse der Laufkatze (des Krans); m_2 – Lastmasse; g – Fallbeschleunigung.

Auf der Abb. 2.1, b sind Übergangsvorgängerkurven für diesen Fall dargestellt.

Diese Steuerungsart bietet einen wesentlichen Zeitgewinn im Vergleich mit vorigen: die Zeit hängt vom Massenverhältnis m_1/m_2 ab. Sie ist doch auch nicht geschwindigkeitsoptimal. Alle Nachteile der Steuerung nach der Lastschwingungsperiode sind bezeichnend für sie.

Meist erörtert sind die Aufgaben der optimalen Kransteuerung in den Arbeiten von A.A. Smechow, N.I. Erofeew und F.L. Tschernousko [23, 26]. Es wurden verschiedene Optimisationsaufgaben gelöst.

Wenn man alle durchgeführten Forschungen verallgemeinert, so kann man einige grundsätzliche Einstellungen bezüglich der Lösungen der Aufgaben der Optimalsteuerung aussuchen. Jede von diesen Einstellungen ist durch den physischen Parameter bestimmt, der als Steuerparameter ausgewählt ist.

Wenn als Steuerparameter die Geschwindigkeit des Aufhängenpunktes ausgewählt ist, so kann man mathematisch genaue Lösung mit Hilfe des Maximumprinzips von L.S. Pontrjagin erhalten. Das optimale Steuerungsgesetz der Geschwindigkeitsänderung des Aufhängenpunktes stellt sich eine stückweise konstante Relaisfunktion, minimale Anzahl der Abschnitte ist gleich drei. Aber, weil beliebige materielle Körper seine Geschwindigkeit nicht sprunghaft ändern, so finden die erhaltenen Lösungen nur geringe praktische Anwendung. Sie kann man mit gewisser Abweichung anwenden, z.B. für die leichte Flaschenzüge, bei denen die Zeit der Beschleunigung bis der optimalen Geschwindigkeit ist klein im Vergleich mit der Periode der Lasteigenschwingungen.

Wenn als Steuerparameter die Beschleunigung des Aufhängenpunktes ausgewählt ist, so kann man nicht komplizierte analytische Lösung erhalten und das optimale Steuerungsgesetz stellt sich eine stückweise konstante Funktion mit drei Abschnitten mit konstanten Beschleunigungswerten dar (Abb. 2.1, c). Dieses Steuerungsgesetz fand eine breite Anwendung und wurde in USA und in Japan auf den Kränen mit den Thyristorantrieben realisiert. Diese Steuerungsart hat solche Nachteile: die Berücksichtigung der Einwirkung des aufschaukelnden Lastes auf die Laufkatzenbewegung ist unmöglich. Solches Aufschaukeln fördert die Laufkatzenbewegung, wenn der Last befindet sich vor der Laufkatze und hindert die Laufkatzenbewegung, wenn der Last befindet sich hinter der Laufkatze. Diese Einwirkung ist je größer, desto größer ist das Massenverhältnis zwischen der Last und der Laufkatze. Dabei besteht es eine nicht rationelle Ausnutzung der Leistungsmöglichkeiten des Antriebs (Unterlast) oder Überlastung des Antriebs. Im solchen Fall haben wir wesentliche Reserven für weitere Verkürzung der Übergangsvorgängedauer.

Als Steuerparameter kann auch bewegende Kraft ausgewählt werden. Die Größe dieser Kraft ist nur durch Antriebsmöglichkeiten begrenzt. Um eine maximale Geschwindigkeit zu erhalten, ist die maximale Größe der bewegenden Kraft zu wählen. Im zweimassigen Berechnungsmodell des Krans ist die Einwirkung der Lastschwingungen auf die Laufkatzenbewegung unmittelbar berücksichtigt. Im Ergebnis bewegt sich die Laufkatze im beliebigen Zeitpunkt mit variablen Beschleunigung, die hängt von dem Verhältnis der auf der Laufkatze wirkenden Kraftfaktoren ab: der bewegenden Kraft von der Antriebsseite, des Bewegungswiderstandes der Laufkatze und der Kraft von der Lastseite. Das dabei zu erhaltende Steuerungsgesetz ist dasselbe, wie in zwei vorgenannten Fällen – dreistufiges (Abb. 2.1, d), aber die Übergangsvorgängedauer ist kleiner bei sonstigen gleichen Bedingungen. Trotzdem

ist auch dieses Gesetz nicht das grenzschnellste. Das ist mit der Tatsache zu erklären, daß in allen erörterten Steuerungsgesetzen ist die Dämpfung der Lastschwingungen in der Beschleunigungsstufe durchgeführt. Die Erfahrung des Kranbetriebs zeigt, daß hochqualifizierter Kranfahrer vergeudet die Zeit auf der Schwingungsdämpfung in der Beschleunigungsstufe nicht, und dämpft das Aufschaukeln des Lastes in der Zyklusendphase. Darum ist die Geschwindigkeit des Kranfahrers höher im Vergleich mit erörterten Steuerungsarten, sogar werden sie mit Hilfe der Mikroprozessortechnik realisiert.

Darüber hinaus scheint als aktuell die Aufgabe der Erhaltung des Optimalsteuerungsgesetzes ohne vorläufige Beseitigung der Lastschwingungen bei der Beschleunigung, d.h. des Optimalbremsengesetzes bei der beliebigen (bei der Bremsenanfang) Laststellung bezüglich der Laufkatze. Die so gestellte Aufgabe wurde gelöst. Im diesen Fall wird die Laufkatze so schnell wie möglich beschleunigt, in der Stabilbewegungsstufe durchführt der

Last die Freischwingungen, und dann ist das dreistufige Bremsen der Laufkatze mit Schwingungsdämpfung verwirklicht. Die Stufendauer hängt hauptsächlich von dem Startphasenzustand des Systems "Laufkatze – Last" ab, und bei verschiedenen Laufkatzenbewegungen findet ein "eigenes" Steuerungsgesetz statt. Bezeichnend für diese Steuerungsart ist das, was die Übergangsvorgängedauer ist nicht "starr" verbunden mit der Lastaufhängenlänge. Das Steuerungsgesetz bei der großen Aufhängenlänge (bis über 100 m) hat fast gleiche Dauer, wie das Steuerungsgesetz für kleine Aufhängenlänge bei sonstigen gleichen Bedingungen.

Wenn dieser Steuerungsart mit Steuerung nach der Schwingungsperiode vergleichen, so ist die Übergangsvorgängedauer dreimal-viermal kleiner bei der großen Aufhängenlänge. So, zum Beispiel, für Greifer-Bunker-Umlader mit Tragfähigkeit 16 t und Leistungsfähigkeit 800 t/h (Förder-Einrichtungen Werk namens S.M. Kirow, Verein "Lenpodjemtransmasch") wurde ein relativer Zeitgewinn in der Übergangsvorgänge bei dem optimalen Steuerungsgesetz im Vergleich mit dem nichtoptimalen in der Höhe von 335 % erhalten (Abb. 2.1, a).

In der bestimmten Bremsenphase ist es möglich, daß die Laufkatze fing der Bewegung in der entgegengesetzten Richtung an. Trotzdem, wie die Forschungen gezeigt haben, auch dabei wird die höchste Leistungsfähigkeit erreicht, und auch der erfahrenste Kranfahrer kann sie nicht überschreiten, im besten Fall kann er nur die gleiche Leistungsfähigkeit zeigen. Wichtig ist es auch, daß die maximale Leistungsfähigkeit bei der minimalen Zahl der Umschaltungen erreicht wird, was die Lebensdauer der Elektroeinrichtung und Kranmechanismen vergrößert.

Dieses Steuerungsgesetz ist in der Naturbedingungen erprobt. Mit Hilfe der mikroprozessorischen Technik wird dieses Gesetz auf der Flaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t und auf dem Greiferbrückenkran mit Tragfähigkeit 5 t realisiert.

Es wurde noch kompliziert gestellte Aufgabe mit Begrenzungen gelöst. Begrenzung: während des allen Umladezyklus darf die Lastabweichung von der Vertikale eine vorgeschriebene Größe nicht überschreiten (Abb. 2.1, f). Das ist bei der Förderung explosions-

gefährlichen und brüchigen Lasten, Flüssigkeiten, Schmelzmetalle und bei der große Aufhängenlänge, wobei die wesentliche gefährliche Abweichungen des Lastes vom Gleichgewichtszustand möglich sind, aktuell.

Die zu erhaltende Steuerungsgesetze unterschieden sich in Abhängigkeit von der Größe der maximal zulässigen Lastabweichung. Wenn ist sie kleiner als die Frequenz der erzwungenen Schwingungen, so geschieht die Bewegung auf solche Weise. In der Beschleunigungsstufe wird der Last auf die maximale Abweichung herausgeführt und weitere Beschleunigung der Laufkatze geschieht auf solche Weise. Wenn die Laufkatze die Nenngeschwindigkeit erreicht fing eine Stufe der stabilen Bewegung mit schwingendem Last an, deren Abweichung vom Gleichgewichtszustand überschreitet eine vorgegebene Größe nicht. Beim Bremsen haltet die Berechnungskraft den Last auch im Abweichungszustand fest, nur bei der Beschleunigung wird der Last hinter der Laufkatze festhalten und beim Bremsen – vor der Laufkatze. Der gesamte Umladezyklus besteht aus neun Stufen, das ist die minimale Zahl für diese Aufgabestellung.

Wenn ist die vorgegebene Lastabweichungbegrenzung größer als die Frequenz der erzwungenen Schwingungen des Zweimassensystem Kran – Last, so wird der Steuerungsgesetz ein wenig verändert, weil es gibt keine Abschnitte mit Lastfesthaltung im Abweichungs- stand, obwohl die vorige gesamte Stufenzahl ist vorbehalten.

2.2. Вибір параметра керування і розрахункової схеми. Auswahl des Steuerparameters und des Berechnungsschemas

Fast in allen Arbeiten wird als Steuerparameter ein aus drei Parametern ausgewählt: Laufkatzensgeschwindigkeit, Laufkatzenbeschleunigung oder die bewegende Kraft. Hier und im weiteren unter den Begriff "Laufkatze" werden wir nicht nur die Lastlaufkatze des Brückenkrans oder des Umladers beabsichtigen, sondern auch eigentlich den Kran, die Laufkatze des Auslegerkrans usw., d.h. jene Mechanismus, das in diesem Fall die Bewegung des Aufhängenpunktes gewährleistet.

Analysieren wir, Auswahl welchen Parameter ist optimal.

Wie die Forschungen von F.L. Tschernousko u.a. [26] gezeigt haben, wo als Steuerparameter wurde am meisten Laufkatzensgeschwindigkeit ausgewählt werden, stellt sich das Optimalsteuerungsgesetz, und zwar das Geschwindigkeitsänderungsgesetz der Laufkatze, eine stückweise konstante Funktion dar, und darum ist dieses Gesetz praktisch nicht realisierbar auf dem realen Kran mit dem traditionellen Asynchronantrieb. Darüber hinaus folgt, daß die Auswahl als Steuerparameter der Laufkatzensgeschwindigkeit in den Aufgaben der maximalen Geschwindigkeit ist für die Brücken-Greifer-Kräne und Kräne mit der stufenweise Geschwindigkeitsregelung unzweckmäßig.

Wenn man zwei andere Parametern – die Laufkatzenbeschleunigung und die bewegende Kraft – vergleichen, so ist es zu bemerken, daß bei den Kräne mit dem starr aufhängenden Last sind diese Parameter linear abhängig und ist es gleichgültig, welcher von ihnen wird als Steuerparameter ausgewählt. Bei dem flexiblen Lastaufhängen ist die Laufkatzenbeschleunigung nicht nur von der bewegenden Kraft, sondern auch von der Lastwirkung, die verändert sich in Abhängigkeit von dem Lastphasenzustand und von dem Massenverhältnis der Laufkatze und des Lastes, abhängig.

Wählt man als Steuerparameter die Laufkatzenbeschleunigung, so, wie es in den Arbeiten von verschiedenen Autoren [23, 26] gezeigt wurde, um die maximale Geschwindigkeit zu erreichen, muß die Laufkatzenbeschleunigung konstant und maximal groß auf jede Stufe sein, unabhängig von dem Lastphasenzustand. Also, wird dabei die Einwirkung des Lastes auf der Laufkatzenengeschwindigkeit nicht beachten. Wollen wir analysieren, welche Folgen das haben wird. Betrachten wir zwei typische Fälle. Im ersten Fall nehmen wir an, daß während der Beschleunigung ist die Lastgeschwindigkeit gegenwärtig zu der Laufkatzenengeschwindigkeit gerichtet. Im Ergebnis, wird der Last durch das Seil eine Bremsenwirkung auf der Laufkatze ausüben, was zur Überlastung des Antriebs führen kann, weil er muß eine vorgegebene konstante positive Beschleunigung gewährleisten. Im zweiten Fall nehmen wir an, daß während der Beschleunigung hat die Lastgeschwindigkeit bezüglich die Laufkatze derselbe Richtung wie die Laufkatzenbeschleunigung. Im Ergebnis, trägt der Last zu der beschleunigten Laufkatzenbewegung bei und es entsteht eine Unterlastung des Antriebs. Noch mehr, bei der großen Lastmasse kann der Motor des Bewegungsmechanismus in der Generatormode übergehen. Auf solche Weise entsteht eine schwerlösbarer Aufgabe der rationalen Auswahl des maximalen zulässigen Wertes der Laufkatzenbeschleunigung, weil dem ersten Fall nach muß man die maximale Beschleunigung verkleinern und dem zweiten Fall nach – vergrößern. Jedenfalls entsteht oder die Überlastung des Antriebs, oder nicht rationelle Benutzung der Antriebsmöglichkeiten. Folglich, kann dieses Steuerungsgesetz die maximale Dauerverkürzung des Umladezyklus nicht gewährleisten. Außerdem, um eine konstante Beschleunigung zu gewährleisten, muß man den Kran mit einem speziellen regelbaren Antrieb einrichten.

Wesentlich wertvoll scheint die Lösung der Aufgaben der Optimalsteuerung, wenn als Steuerparameter die bewegende Kraft ausgewählt war. Sie ist auch beschränkt, aber diese Beschränkung ist wesentlich naturgemäßer als die Beschleunigungsbegrenzung der Laufkatze. Sie ist durch die Leistungsparametern des Antriebs, das Haftvermögen der Laufräder mit dem Gleis und die Festigkeitsbedingungen bestimmt. Also, werden die Laufkatzenbeschleunigung und Laufkatzenbeschleunigung verändern in Abhängigkeit von der bewegenden Kraft und von der Lasteinwirkung. Zweifellos verursacht das die Kompliziertheit der Aufgabenlösungen, aber das zu erhaltende Steuerungsgesetz kann man als optimal kennzeichnen.

Wollen wir jetzt ein zweimassiges Kranmodell (Abb. 2.2) betrachten, das aus der Laufkatze mit der Masse m_1 und dem Last mit der Masse m_2 , der auf dem flexiblen Seil mit

der Länge L hängt, besteht. Auf der Laufkatze wirkt die bewegende Kraft $F(t)$ und statische Widerstandskraft W .

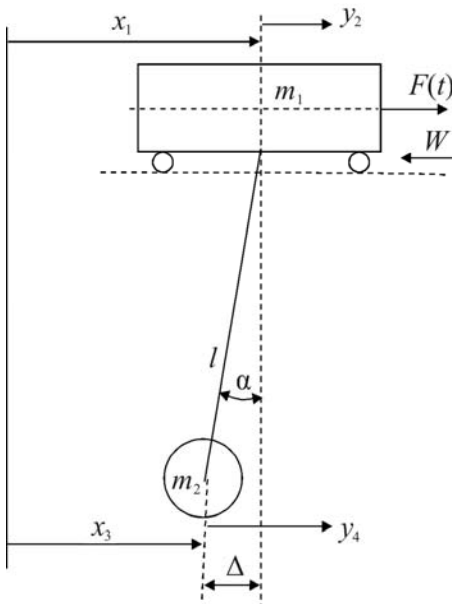


Abb. 2.2. Das Berechnungsschema

Nehmen wir an, daß Seil ist undehnbar, hat keine Masse und ist absolut flexibel, daß die Masse des Lastes befindet sich im einen Punkt, daß die Lastschwingungen klein sind. Diese Annahmen sind im [22] begründet.

Nehmen wir solche Bezeichnungen an:

y_1 – Laufkatzenverschiebung;

y_2 – Laufkatzen Geschwindigkeit;

y_3 – Lastverschiebung;

y_4 – Lastgeschwindigkeit;

g – Fallbeschleunigung.

Auf der Basis der Lagrangesche Gleichung der zweiten Art werden die Bewegungen des betrachtenden Modells für den Fall der kleinen Lastschwingungen durch das Differentialgleichungssystem beschreiben

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} + m_2 \cdot g(y_1 - y_3) / L = F(t) - W \cdot \text{sign} y_2; \\ m_2 \frac{d^2 y_3}{dt^2} + m_2 \cdot g(y_1 - y_3) / L = 0, \end{cases} \quad (2.1)$$

welches kann man in die kanonischen Form umwandeln

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_2; \\ \frac{dy_1}{dt} = (y_3 - y_1) \cdot m_2 \cdot g / (m_1 \cdot L) + U(t); \\ \frac{dy_1}{dt} = y_4; \\ \frac{dy_1}{dt} = (y_1 - y_3) \cdot g / L, \end{cases} \quad (2.2)$$

wo $U(t) = (F(t) - W \cdot \text{sign} y_2) / m_1$.

Als Steuerparameter wurde die bewegende Kraft ausgewählt, aber im Weiteren werden wir als Steuerparameter $U(t)$ betrachten, der proportionell zu $F(t)$ ist.

Das System der linearen nicht homogenen Differentialgleichungen (2.1) kann man in eine Differentialgleichung des vierten Grades umsetzen

$$\frac{d^4 y_3}{dt^4} + \lambda^2 \cdot \frac{d^2 y_3}{dt^2} = U(t) \cdot g / L, \quad (2.3)$$

wo $\lambda = \sqrt{g \cdot (m_2 / m_1 + 1) / L}$.

Mit Hilfe von der Koschi-Methode [70] kann man partikuläre Lösung der Gleichung (2.3) erhalten, nur wenn das fundamentale Lösungssystem bekannt ist. Um diese System zu erhalten, ist die charakteristische Gleichung

$$k^4 + \lambda^2 \cdot k^2 = 0,$$

zu lösen.

Wenn das fundamentale Lösungssystem der homogenen Gleichung (2.3) bekannt ist, können wir die allgemeine Lösung der Gleichung (2.3) erhalten. Auf der Basis des Gleichungssystem (2.2) erhalten wir

$$\begin{cases} y_1 = b_1 + b_2 t - b_3 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t + \int_0^L \left[\frac{g}{l \cdot \lambda^2} (t - \tau) + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l \cdot \lambda^3} \right) \sin \lambda (t - \tau) \right] U(\tau) d\tau; \\ y_2 = b_2 + b_3 \lambda \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t + \int_0^L \left[\frac{g}{l \cdot \lambda^2} + \left(1 - \frac{g}{l \cdot \lambda^2} \right) \cos \lambda (t - \tau) \right] U(\tau) d\tau; \\ y_3 = b_1 + b_2 t + b_3 \cos \lambda t + b_4 \sin \lambda t + \int_0^L \left[\frac{g}{l \cdot \lambda^2} (t - \tau) - \frac{g}{l \cdot \lambda^3} \sin \lambda (t - \tau) \right] U(\tau) d\tau; \\ y_4 = b_2 - b_3 \lambda \sin \lambda t + b_4 \lambda \cos \lambda t + \int_0^L \left[\frac{g}{l \cdot \lambda^2} - \frac{g}{l \cdot \lambda^2} \cos \lambda (t - \tau) \right] U(\tau) d\tau; \end{cases} \quad (2.4)$$

wo

$$\begin{aligned} b_1 &= (m_1 \cdot y_{01} + m_2 \cdot y_{03}) / m; \\ b_2 &= (m_1 \cdot y_{02} + m_2 \cdot y_{04}) / m; \\ b_3 &= (y_{03} - y_{01}) \cdot m_1 / m; \\ b_4 &= (y_{04} - y_{03}) \cdot \lambda^{-1} \cdot m_1 / m; \\ m &= m_1 + m_2. \end{aligned}$$

2.3. Дослідження типу закона оптимального керування за характеристиками швидкості візка з підвішеним вантажем.

Метод фазової площини.

Forschung der Art des optimalen Steuerungsgesetzes un der Bewegungscharakteristik der Laufkatze mit dem aufgehängenden Last.

Methode der Phasenebene

Um die Art der optimalen Funktion $U(t)$ zu bestimmen, nutzen wir das Maximumprinzip von L.S. Pontrjagin [71]. Dieses Prinzip kann man anwenden, wenn zwei solche Bedingungen gültig sind: die Bedingung der Lagegemeinschaft und die Bedingung der Zugehörigkeit des Punkts $y_2 = 0$ zum Innenbereich der Steuerungsbegrenzungen [72]. Im unseren Fall ist die zweite Bedingung immer gültig, weil die Laufkatzensgeschwindigkeit kann wie positiv, als auch negativ sein. Die Bedingung der Lagegemeinschaft ist äquivalent der Prüfung, ob die Determinante C nicht gleich Null ist. C besteht aus der Vektor-Spalten B , A^*B , A^2*B , A^3*B , wo A – die Koeffizientenmatrix des linearen Systems (2.2), B – der Steuerungskoeffizientenvektor.

Schreiben wir ein konjugierte System [71] für das Gleichungssystem (2.2) auf

$$\phi_i = -\sum_{n=1}^4 \frac{a\dot{y}_n}{ay_i} \phi_n, \quad i = 1 \dots 4,$$

$$\begin{cases} \dot{\phi}_1 = \phi_2 m_2 g / (m_1 l) - \phi_4 g / l; \\ \dot{\phi}_2 = -\phi_1; \\ \dot{\phi}_3 = \phi_2 m_2 g / (m_1 l) + \phi_4 g / l; \\ \dot{\phi}_4 = -\phi_3; \end{cases},$$

und seine Lösungen

$$\begin{cases} \phi_1 = -C_2 - C_3 \lambda \cos(\lambda t + \alpha); \\ \phi_2 = C_1 + C_2 t + C_3 \sin(\lambda t + \alpha); \\ \phi_3 = -C_2 m_2 / m_1 + C_3 \lambda \cos(\lambda t + \alpha); \\ \phi_4 = C_1 m_2 / m_1 + C_2 t \cdot m_2 / m_1 - C_3 \sin(\lambda t + \alpha); \end{cases},$$

wo C_1, C_2, C_3, α – konstante Koeffizienten.

Dem Maximumprinzip nach, ist die Gleichung $U(t)$ geschwindigkeitsoptimal wenn die Hamiltonische Funktion H ein Maximum hat

$$H = \sum_{i=1}^4 \phi_i y_i = \phi_1 y_2 - \phi_2 (y_1 - y_2) m_2 g / (m_1 l) + \phi_2 U(t) + \phi_3 y_4 + \phi_4 (y_1 - y_3) g / l.$$

Folglich, stellt sich das optimale Steuerungsgesetz eine Relaisfunktion dar

$$U(t) = |U_0| \text{sign}[C_1 + C_2 t + C_3 \sin(\lambda t + \alpha)],$$

$$\text{wo } U_0 = \begin{cases} (K - W \cdot \text{sign} y_2) / m_1 & \text{– bei Beschleunigung;} \\ -(N + W \cdot \text{sign} y_2) / m_1 & \text{– beim Bremsen,} \end{cases}$$

wo K – maximal zulässige bewegende Kraft; N – maximal zulässige Bremsenkraft.

Relaiseigenschaften der Optimalfunktion waren auch bei symmetrische Steuerung entdeckt [26], wobei waren die analytischen Formeln für die Bestimmung der Zeitpunkte der Steuerungumschaltungen erhalten. Weil in dem betrachtenden Fall scheint die Bestimmung der Zeitpunkte der Steuerungumschaltungen mit Hilfe des Maximumprinzips als unmöglich wegen Unstetigkeit der Funktion sign im Ausdruck für U_0 , so ist dafür die Methode der Phasenebene auszunutzen, die von vielen Autoren erfolgreich angewendet war [23, 45, 48, 73]. Diese Methode erlaubt eine grafische Darstellung des gesamten Umladevorganges, die Beurteilung des Phasenzustandes des Systems "Laufkatze – Last" im beliebigen Zeitpunkt, Prognostizierung des Modellverhalten und die wichtigste – diese Methode erlaubt die analytische Formeln für die Bestimmung der Zeiten der Steuerungumschalten zu erhalten.

Weil im jeden Steuerungsstufe $U(t) = U_0 = \text{const}$, so kann man das System (2.4) auf solche Weise umschreiben

$$\begin{cases} y_1 = b_1 + b_2 t - b_3 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t + \left(1 - \frac{g}{l \cdot \lambda^2}\right) \cdot (1 - \cos \lambda t); \\ y_2 = b_2 + b_3 \lambda \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t + \frac{U_0}{\lambda} \left[\frac{gt}{l\lambda} + \left(1 - \frac{g}{l\lambda^2}\right) \sin \lambda t \right]; \\ y_3 = b_1 + b_2 t + b_3 \cos \lambda t + b_4 \sin \lambda t + \frac{gU_0}{l\lambda^2} \left[\frac{t^2}{2} - \frac{1}{\lambda^2} (1 - \cos \lambda t) \right]; \\ y_4 = b_2 - b_3 \lambda \sin \lambda t + b_4 \lambda \cos \lambda t + \frac{gU_0}{l\lambda^2} \left(t - \frac{\sin \lambda t}{\lambda} \right). \end{cases} \quad (2.5)$$

Die erfolgreiche Anwendung der Methode der Phasenebene ist im Wesentlichen durch der Auswahl des Koordinatensystems bestimmt. Es ist bequem, die Bewegung des Forschungsmodells im Koordinatensystem (ξ_1, ξ_2) betrachten, wo

$$\xi_1 = (y_3 - y_1) \lambda, \quad (2.6)$$

$$\xi_2 = y_4 - y_2. \quad (2.7)$$

Dann stellen sich die Laufbahne, die die Übergangsvorgänge des Systems "Laufkatze – Last" beschreiben, die Kreise dar, deren Mittelpunkte sind bezüglich der Achse ξ_2 um ein Wert von U_0/λ verschiebt. Das folgt aus der Kreisgleichung, die bei der Substitution von (2.5) in (2.6) und in (2.7)

$$\left(\xi_1 + \frac{U_0}{\lambda}\right)^2 + \xi_2^2 = \left(\frac{U_0}{\lambda}\right)^2 + b_3^2 \lambda^2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)^2 + b_4^2 \lambda^2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)^2 + 2U_0 b_3 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right). \quad (2.8)$$

Folglich, der Beschleunigung entspricht eine Kreisschar mit dem Mittelpunkt im O_1 $\left(-\frac{K-W}{m\lambda}, O\right)$ (Abb. 2.3), und dem Laufkatzenbremsen entspricht eine Kreisschar ist

dem Mittelpunkt im O_2 $\left(\frac{N+W}{m_1\lambda}, O\right)$. Wie im weiteren hinweisen wird, in der bestimmten

Stufe des Umladezyklus ist die Laufkatzenbewegung in der Ruckrichtung möglich. Im diesen Fall, weil das Vorzeichen bei W ändert sich, der Beschleunigung der Laufkatze in der

Gegenrichtung entspricht eine Kreisschar mit dem Mittelpunkt im O_3 $\left(\frac{N-W}{m_1\lambda}, O\right)$, und

dem Bremsen – eine Kreisschar mit dem Mittelpunkt im O_4 $\left(-\frac{K+W}{m_1\lambda}, O\right)$.

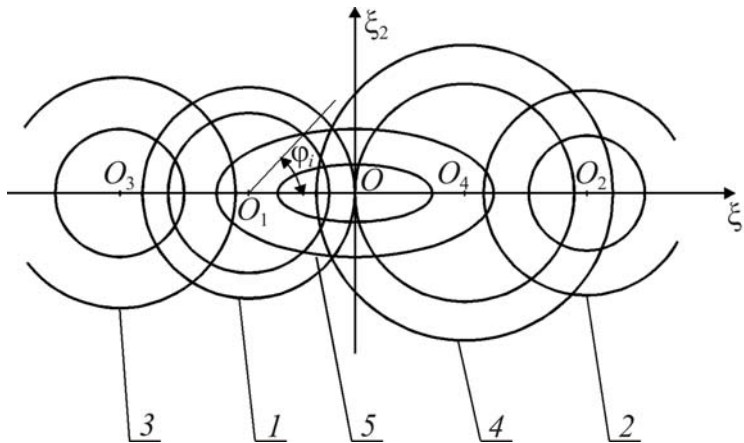


Abb. 2.3. Phasenebene

Wie folgt aus (2.8), die Radien dieser Kreise sind von den Anfangsphasenkoordinaten abhängig, und die Bewegung auf diesen Radien erfolgt gleichmäßig mit Winkelgeschwindigkeit λ in der Uhrzeigerrichtung. Also, kann man die Zeit der Bewegung auf dem beliebigen Abschnitt des Phasenlaufbahnes bestimmen. Sie wird mittels die Formel

$$t_i = \varphi_i / \lambda, \quad (2.9)$$

bestimmt, wo φ_i – Zentriwinkeln, auf denen stützen sich die Kreisbogen (Abb. 2.3); $i = 1, 2, \dots$ – Stufennummer.

Stationäre Modellbewegung, wenn die Laufkatze bewegt sich mit der Nenngeschwindigkeit und der Last die freie Schwingungen vollführt, kann man mit Gleichungssystem (2.2) beschreiben bei $y_2 = 0$. Die Lösungen:

$$\begin{cases} y_1 = y_{01} + y_{02}t; \\ y_2 = y_{02}; \\ y_3 = y_{01} + y_{02}t + (y_{03} - y_{01})\cos \mu t + \mu^{-1}(y_{04} - y_{02})\sin \mu t; \\ y_4 = y_{02} - (y_{03} - y_{01})\mu \sin \mu t + (y_{04} - y_{02})\cos \mu t, \end{cases}$$

wo $\mu = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

Um das Gesetz $U(t)$ bei der stationären Bewegung zu erhalten, ist das Gleichungssystem (2.1) relativ bei $\ddot{y}_1 = 0$ aufschreiben. Als Ergebnis erhalten wir eine Differentialgleichung

$$\frac{d^2 U(t)}{dt^2} + \frac{g}{l} U(t) = 0. \quad (2.11)$$

Die Gleichung (2.11) hat solche Lösung

$$U(t) = -\frac{m_2 g}{m_1 l} \left[(y_{03} - y_{01}) \cos \mu t + \mu^{-1} (y_{04} - y_{02}) \sin \mu t \right]. \quad (2.12)$$

Mit Hilfe von (2.6), (2.7) und (2.10) war es bestimmt, daß auf der Phasenebene (ξ_1, ξ_2) der stationären Bewegung entspricht eine Ellipse mit der Gleichung

$$\frac{\xi_1^2}{\xi_{10}^2 + (\mu^{-1} \lambda \xi_{20})^2} + \frac{\xi_2^2}{(\xi_{10} \mu \lambda^{-1})^2 + \xi_{20}^2} = 1,$$

wo ξ_{10}, ξ_{20} – Anfangsphasenkoordinate.

Die Bewegung auf der Ellipse ist gleichmäßig mit der Winkelgeschwindigkeit μ in der Uhrzeigerrichtung vollgeführt, und die Dauer t_i der beliebigen Stufe bei der stationäre Bewegung kann man nach der Formel

$$t_i = \alpha_i / \mu, \quad (2.13)$$

bestimmen, wo α_i – Winkel zwischen zwei Strecken, die der Koordinatenursprung mit den Grenzpunkten des interessierenden Ellipseabschnittes verbinden (Abb. 2.3).

Am Ende des Umladezyklus soll der Phasenpunkt im Koordinatenursprung der Phasenebene befinden. Dabei sind solche Bedingungen zu erfüllen:

$$y_1 = S; \quad (2.14)$$

$$y_2 = 0. \quad (2.15)$$

2.4. Оптимальний закон керування без урахування фазових обмежень (Задача 1).

Optimales Steuerungsgesetz ohne Berücksichtigung der Phasenbegrenzungen (Aufgabe 1)

Formulieren wir die Optimisationsaufgabe [76] (Aufgabe 1): es ist Steuerungsgesetz zu bestimmen, das eine minimale Umschaltunugszahl hat, und bei dem verschiebt sich die Laufkatze mit auf dem Seil aufhängendem Last am schnellsten auf die vorgegebene Entfernung mit Volldämpfung der Lastschwingungen im Endpunkt der Bewegung. Dabei muß eine solche Steuerungsbegrenzung erfüllt sein:

$$-(N + W \operatorname{sign} y_2) / m_1 \leq U(t) \leq (K - W \operatorname{sign} y_2) / m_1. \quad (2.16)$$

Weil die Art des Steuerungsgesetzes auf der Basis des Maximumprinzips bestimmt worden war, so ist für die Aufgabelösung die Zeitpunkte der Steuerungsumschaltungen zu bestimmen.

Betrachten wir das Bewegungsvorgang des Forschungsmodells auf der Phasenebene (ξ_1 , ξ_2). Die Bewegung beginnt von dem Ruhezustand

$$y_{10} = y_{20} = y_{30} = y_{40} = 0.$$

Auf der Phasenebene entspricht diesem der Koordinatenursprung.

Kann man eindeutig die Laufbahn der ersten Stufe des Umladezyklus bestimmen, weil die Anfangsphasenkoordinate bekannt ist – das ist die Kreislinie J_1 (Abb. 2.4) mit dem

Mittelpunkt $O_1 \left(-\frac{K-W}{m_1\lambda}, O \right)$, die durch den Koordinatenursprung läuft und der Laufkatzenbeschleunigung entspricht. Schon in dieser Forschungsstufe kann man bestimmt über die maximale Lastabweichung Δ_{\max} von der Vertikale bei der Laukatzenbeschleunigung, wenn auf die Laufkatze eine konstante bewegende Kraft wirkt. Wie aus der Abb. 2.4 folgt

$$\Delta_{\max} \leq 2 \cdot \frac{K-W}{m_1\lambda^2}.$$

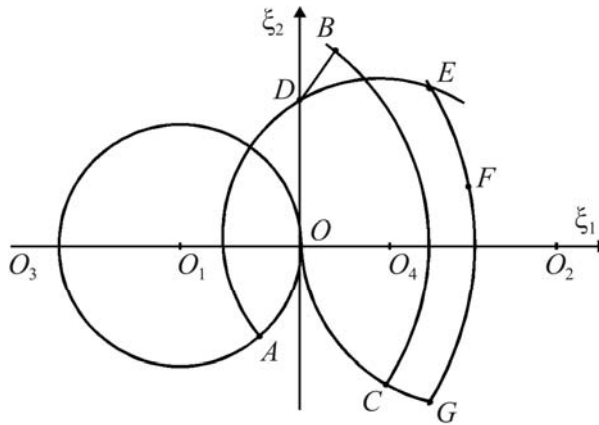


Abb. 2.4. Optimales Gesetz ohne Berücksichtigung Phasenbegrenzungen

Also, wird die Optimisationsaufgabe auf das Treffen auf dem kürzesten Weg von dem beliebigen Kreispunkt in dem Koordinatenursprung zurückführt, und zwar auf solche Weise, daß in diesem Punkt sind die Bedingungen (2.14) und (2.15) erfüllt.

Offensichtlich, daß die Dauer der ersten Stufe wird aus der Bedingung (2.14) bestimmt. Darum, muß der Algorithmus der Suche der Optimallösung für alle Punkte der Kreislinie J_1 gleich sein.

Nehmen wir an, daß das Laufkatzenbremsen fängt im Punkt A an. Die weitere Bewegung wird auf der Kreislinie J_2 mit dem Mittelpunkt $O_2 \left(\frac{N+W}{m_1\lambda}, O \right)$ vollführt, aber,

wie kann auf der Abb. 2.3 dargestellt ist, kann man auf dieser Laufbahn nicht in den Punkt O treffen. Die einzige Laufbahn, die durch diesen Punkt läuft, ist die Kreislinie J_4 mit dem Mittelpunkt O_2 . Weil die Kreislinien J_2 und J_4 keine gemeinsame Punkte haben, weil sie konzentrisch sind, so ist es Übergang von einer Kreislinie zur anderen nur auf der Beschleunigungslaufbahn, die ähnlich J_3 ist, möglich.

Also wird das unbedingte Vorhandensein der Beschleunigungs- stufe während des Laufkatzenbremsens beweis. Aus der Menge der Laufbahnen, die ähnlich J_3 sind, muß man eine solche auswählen, daß im Punkt O die Bedingung (2.15) erfüllt ist. Tatsächlich, wird die Dauer der zweiten Stufe wird mittels diese Bedingung bestimmt. Wenn ist diese Dauer bekannt, so kann man die Dauer der zwei letzten Stufen t_{BC} und t_{CO} eindeutig bestimmen nach der Formel (2.9).

Dafür ist es notwendig, die Koordinaten des Punktes $C (\xi_{1C}, \xi_{2C})$ zu bestimmen. Das ist nicht schwer, weil die Koordinaten des Punktes $B (C, C)$ und der Radius der Kreislinie J_4 bekannt sind. Als Ergebnis erhalten wir

$$t_{BC} = \frac{1}{\lambda} \left(\arctg \frac{\xi_{2B}}{U_0 / \lambda + \xi_{1B}} + \arctg \frac{\xi_{2C}}{U_0 / \lambda + \xi_{1C}} \right); \quad (2.17)$$

$$t_{CO} = \frac{1}{\lambda} \arccos \left(1 - \frac{\lambda \cdot \xi_{1C}}{U_0} \right). \quad (2.18)$$

Betrachten wir ein partieller Fall, wobei die Laufkatzenbeschleunigung auf dem Abschnitt AB den Null erreicht, zum Beispiel im Punkt D und der Bogen AD hat keinen Punkt, im welchen die Bedingung (2.14) erfüllt ist. Die weitere Bewegung wird in der umgekehrten Richtung vollführt, aber ist es bekannt, daß bei der Änderung des Vorzeichens der Laufkatzenbeschleunigung ändert die Kraft des statischen Widerstandes ihre Richtung auch. Auf der Phasenebene sehen wir dabei, daß der Bogen AB im Punkt D ein Bruch erträgt und die weitere Bewegung wird auf dem Bogen DE mit dem Mittelpunkt $O_4 \left(-\frac{K+W}{m_1 \lambda}, O \right)$, der der Laufkatzenbeschleunigung in der umgekehrten Richtung entspricht, und auf dem Bogen EF mit dem Mittelpunkt $O_3 \left(-\frac{K+W}{m_1 \lambda}, O \right)$, der dem Laufkatzenbremsen bis zu der Nullgeschwindigkeit bei der Bewegung in der umgekehrten Richtung entspricht. Also, im betrachteten partiellen Fall ist die Optimallösung zwischen die Laufbahnen, die ähnlich $OADEFGO$ sind, zu suchen. Die Stufendauer sind auf solche Weise bestimmt: die Stufen AD und EF sind mittels die Lösung der transzendente Gleichung $y_2 = 0$ [74] mit Hilfe den Ausdruck für y_2 aus (2.5) bestimmt; die Stufe DE – aus der Bedingung (2.15), und die Stufen FG und GO – nach der Formel (2.9). Hier und im weiteren werden die analytische Ausdrücke für Stufendauerbestimmung nicht angeführt wegen ihrer Umfangreichheit.

Der betrachtete partielle Fall, wie es zahlreiche Berechnungen gezeigt haben, tauchte oft bei den groben Aufhängelangen (über 20 m) auf, wenn der schwingende Last hat während ziemlich langen Zeitstrecken keine wesentlichen Einfluß auf der Laufkatzenbewegung und

die Laufkatzenbewegung kann sich im breiten Bereich ändern, einschließlich die negativen Werte auch.

Auf der Abb. 2.5 sind die Übergangsvorgängerkurven und das Phasendiagramm dargestellt, die als Ergebnis der Lösung der aufgestellten Optimisationsaufgabe nach der erörterten Methode mittels EDV-Anlage erhalten sind. In der Berechnung sind solche Laufkatzenparametern des Greifer-Brücken-Kranes benutzt: $m_1 = 10300$ kg; $m_2 = 600$ kg; $K = 6000$ N; $N = 6000$ N; $W = 1000$ N; $l = 5$ m; $V_0 = 1$ m/s.

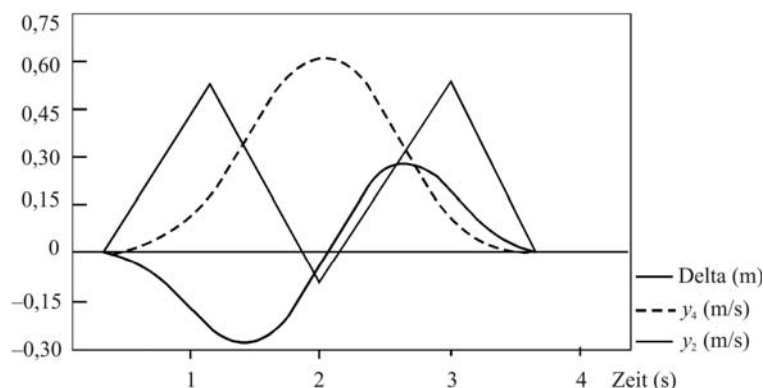


Abb. 2.5. Optimale Kransteuerung N1:

$$P1 = 10,3 \text{ t}; P2 = 0,6 \text{ t}; FR = 6 \text{ kN};$$

$$FT = 6 \text{ kN}; \omega = 1 \text{ kN}; TPO = 0 \text{ s};$$

$$TNP = 0 \text{ s}; EPC = 0,01$$

Die erhaltende Lösungen der Aufgabe 1 finden die praktische Anwendung, wenn erreicht die Laufkatzen Geschwindigkeiten seines Nennwertes nicht, zum Beispiel, bei der Lastverschiebung auf die kleine Entfernungen.

2.5. Оптимальний закон керування з урахуванням обмеження на швидкість візка (Задача 2).

Optimales Steuerungsgesetz mit Berücksichtigung der Begrenzung der Laufkatzen Geschwindigkeit (Aufgabe 2)

Lösen wir die Optimisationsaufgabe [75] in der solchen Stellung (Aufgabe 2): es ist das Steuerungsgesetz $U(t)$ zu bestimmen, das die minimale Zahl der Umschaltungen hat und bei dem verschiebt sich die Laufkatze mit auf dem Seil aufgehängendem Last am schnellsten auf die vorgegebene Entfernung mit olldämpfung der Lastschwingungen im Endpunkt der Bewegung. Dabei müssen die Steuerungsbegrenzungen (2.16) und Geschwindigkeitsbegrenzung

daß die Laufbahn, die *BEFGHO* ähnlich ist, der Bedingung (2.15) befriedigt, so ist die Lösung zwischen die Punkte der Ellipse J_3 , die der Laufkatzenbewegung mit der Nenngeschwindigkeit in die Rückrichtung entspricht, zu suchen.

Betrachten wir die Stufe *DO* – Bremsen bis zum vollen Stillstand. Diese Stufe kann man vorbehältlich betrachten als die Laufkatzenbeschleunigung von dem Nullphasenzustand beim Rücklauf der Zeit, wenn $U_0 = (N + W)/m_1$. Naturgemäß ist vorauszusetzen, daß auf der Kreislinie J_4 ein solcher Punkt *P* vorhanden ist, in dem $y_2 = V_0$. Bei der Lösung der Aufgabe 1 kann man auf die Kreislinie J_4 in der beliebigen Stelle treffen. Im betrachtenden Fall, wegen der Begrenzung (2.18), gilt als zulässigen nur der Bogen *OP*, und der vernachlässigte Teil der Laufbahn wird durch eine Ellipse, die durch den Punkt *P* läuft, ersetzt. Darum wird die Lösung der aufgestellten Optimisationsaufgabe im allgemeinen zur Suche der Übergangslaufbahne von den Abschnitte *BE*, *EK* und von der Ellipse J_3 auf der Abschnitt *OP* oder auf der Ellipse J_5 zurückgeführt. Dabei wird das vorige Suchkriterium erhalten – die Erfüllung der Bedingung (2.15) im Punkt *O*. Also, als Aufgabelösungen können ziemlich komplizierte Laufbahne, zum Beispiel *BEKLMNPO*, erhalten werden. Im wesentlichen, hängt das von der Lage des Punktes *B* auf der Ellipse J_2 oder, was dasselbe ist, von dem Phasenzustand des Systems "Laufkatze – Last" vor dem Bremsenanfang ab.

Die Dauerbestimmung für jede Stufe ist mit der Laufbahnart verbunden. Machen wir das für die komplizierteste Laufbahn – *BEKLMNPO*:

t_{BE} , t_{LM} – werden aus der Gleichung $y_2 = 0$ bestimmt, wobei y_2 – aus (2.5);

t_{EK} – aus der Gleichung $y_2 = -V_0$;

t_{KL} – aus der Bedingung (2.15);

t_{MN} – nach der Formel (2.9);

t_{NP} – nach der Formel (2.13);

t_{PO} – aus der Gleichung $y_2 = V_0$ beim Rücklauf der Zeit, wenn

$$U_0 = (N + W)/m_1.$$

Auf der Abb.2.7 sind die Übergangsvorgängerkurven und das Phasendiagramm dargestellt, die als Ergebnis der Lösung der aufgestellten Optimisationsaufgabe nach der erörterten Methode mittels EDV-Anlage mit Berücksichtigung der Begrenzung der Laufkatzen Geschwindigkeit erhalten sind. Die Berechnung ist für die Kranlaufkatze mit der Nenngeschwindigkeit $V = 1$ m/s durchgeführt. Übrige Laufkatzenparameter – wie in der Aufgabe 1.

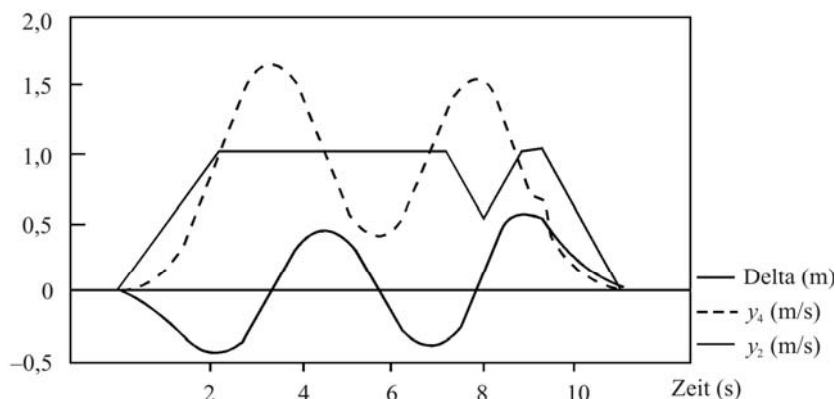


Abb. 2.7. Optimale Kransteuerung N2:

$P1 = 10,3 \text{ t}$; $P2 = 0,6 \text{ t}$; $FR = 6 \text{ kN}$; $\omega = 1 \text{ kN}$; $XN = 8 \text{ m}$;
 $V1 = 1 \text{ m/s}$; $DO = 5 \text{ m}$; $TPO = 0 \text{ s}$; $TPC = 0 \text{ s}$; $EPC = 0,01$

Die erhaltende Lösungen der Aufgabe 2 kann man praktisch für jeden Brückenkran anwenden, außer den Fälle, wenn eine Begrenzung der Lastabweichung von der Vertikale vorhanden ist.

2.6. Оптимальний закон керування з урахуванням демпфірування коливань вантажу.

Das Optimalsteuerungsgesetz mit Berücksichtigung des Abklingens von Lastschwingungen

Bei der Lösung der Optimalsteuerungsaufgaben war das Vorhandensein der Lastschwingungen während der stationären Bewegung vorausgesetzt und war eine Annahme gemacht, daß diese Schwingungen nicht abklingende sind. Doch in den Naturbedingungen klingen die Lastschwingungen mehr oder weniger ab wegen des Luftwiderstandes, der Aufhängensteifigkeit, Änderung der Laufkatzensteifigkeit unter der Lastwirkung usw. Darum kann man ein negatives Ergebnis erhalten wegen des Unterschieds zwischen Berechnungsphasenzustand und realen Phasenzustand des System "Laufkatze – Last" am Bremsenanfang.

Berücksichtigen wir das Abklingen der Lastschwingungen in der stationären Stufe des Umladezyklus mittels logarithmisches Dekrement [78].

Dann kann man das System der Differentialgleichungen (2.2) auf solche Weise überschreiben:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2; \\ \dot{y}_2 = 0; \\ \dot{y}_3 = y_4; \\ \dot{y}_4 = -2 \cdot \varepsilon \cdot y_4 + g(y_1 - y_3)/1, \end{cases} \quad (2.20)$$

wo $\varepsilon = \frac{\gamma}{\tau}$ – Abklingkoeffizient; $\gamma = \ln \frac{\Delta_1}{\Delta_2}$ – logarithmisches Dekrement; Δ_1, Δ_2 –

Schwingungenamplituden nach eine Periode; τ – Schwingungenperiode.

Die Lösungen des Systems der Differentialgleichungen (2.23) kann man aufgrund der Euler-Methode erhalten

$$\begin{cases} y_1 = y_{01} + y_{02}t; \\ y_2 = y_{02}; \\ y_3 = y_{01} + y_{02}t + e^{-\varepsilon_1} \cdot \left\{ (y_{03} - y_{01}) \cos vt + v^{-1} \cdot [(y_{04} - y_{02}) + (y_{03} - y_{01}) \varepsilon] \sin vt \right\}; \\ y_4 = y_{02} - \varepsilon \cdot e^{\varepsilon_1} \cdot \left\{ (y_{03} - y_{01}) \cos vt + [(y_{04} - y_{02}) + (y_{03} - y_{01}) \varepsilon] v^{-1} \cdot \sin vt \right\} + \\ + e^{\varepsilon_1} \cdot \left\{ -(y_{03} - y_{01}) v \sin vt + [(y_{04} - y_{02}) + (y_{03} - y_{01}) \varepsilon] \cos vt \right\}, \end{cases}$$

$$\text{wo } v = \sqrt{\frac{g}{l} - \varepsilon^2}.$$

Auf der Phasenebene (ξ_1, ξ_2) stellt sich die Stufe der stationären Laufkatzenbewegung mit Berücksichtigung des Lastabklings mit spiralartige Kurve (Abb. 2.8) dar.

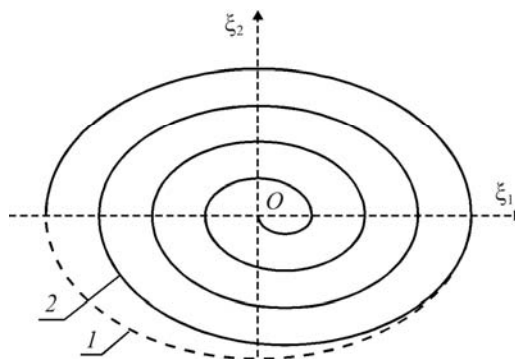


Abb. 2.8. Phasendiagramm der stationären Bewegung:

- 1 – ohne Berücksichtigung des Abklings der Lastschwingungen;
- 2 – mit Berücksichtigung des Abklings der Lastschwingungen

Abklingkoeffizient ε wird jedenfalls nur experimentell Bestimmt. Der Algorithmus der Suche der Optimallösung bleibt unverändert.

Die Abb. 2.9 zeigt, wie die Übergangsvorgängekurven und das Phasendiagramm, die bei der Lösung der Aufgabe 2 erhalten wurden, verändert sind, bei der Berücksichtigung des Abklingens der Lastschwingungen ($\varepsilon = 0,3$).

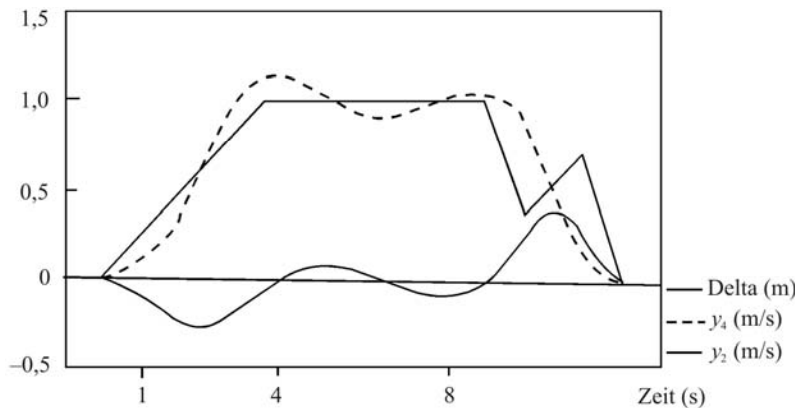


Abb. 2.9. Optimale Kransteuerung N2:

$P1 = 10,3 \text{ t}$; $P2 = 0,6 \text{ t}$; $FR = 6 \text{ kN}$; $FT = 6 \text{ kN}$; $\omega = 15 \text{ kN}$; $XN = 8 \text{ m}$;

$V1 = 1 \text{ m/s}$; $DO = 5 \text{ m}$; $FK = 5 \text{ m}$; $TPO = 0 \text{ s}$; $TPC = 0 \text{ s}$; $EPC = 0,3$

2.7. Оптимізація керування розгойдування вантажу з обмеженням на відхилення вантажу від вертикалі.

Die Steuerungsoptimierung des Lastaufschaukelns mit Begrenzung der Lastabweichung von der Vertikale

Die Aufgabe der Steuerung die Größe des Lastabweichungswinkels von der Vertikale war schon lange aufgestellt. Heute ist diese Frage noch aktueller. Das ist durch Geschwindigkeit- und Beschleunigungsvergrößerung der Maschinenarbeitsbewegungen, durch Vergrößerung der Höhe des Lastaufhängens, durch Vergrößerung der Zykluszahl in der Zeiteinheit verursacht. In den genannten Bedingungen stellen die Zusatzzeitaufwände für das Lastdämpfen während des Zielrichten des Lastes ein wesentlichen Teil der gesamten Zykluszeit dar, was die wesentliche Leistungssenkung verursacht.

Zu den intensiv arbeitenden Maschinen gehören sich die See- und Flußumläder, Container-, Portal-, Turm- und einige Brückenkrane, darum sind die Begrenzung der Abweichung des Lastes von der Vertikale und genaue Zielrichten ohne weiteres Dämpfen sehr wünschenswert.

Eine Reihe der vaterländischen Wissenschaftlern haben sich mit dieser Problematik beschäftigt, es sind auch die Leistungen der ausländischen Firmen auf diesem Gebiet berühmt.

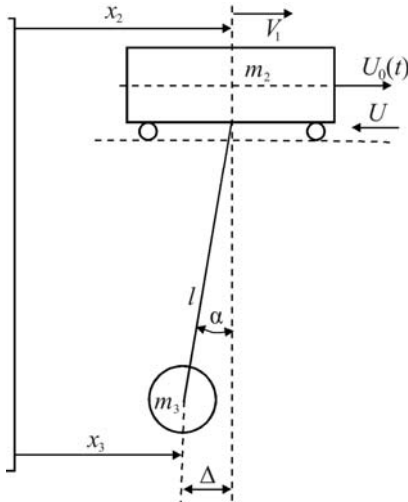


Abb. 2.10. Berechnungsschema

Auf der Beispiel des getrennten Verrückungsmechanismus des Brückenkranes betrachten wir das Zweimassenmodell: Kran – Last (Abb. 2.10).

Die Aufgabestellung: es ist so schnell, wie möglich, ein Kran mit dem Last auf vorgegebene Entfernung x_0 zu verschieben, un zwar auf solche Weise, daß während der Beschleunigung, des gleichmäßigen Laufs und des Bremsen werden die Begrenzungen der

Lastseilabweichung von der Vertikale Δ erfüllt, und am Ende des Bremsen schaukelt sich der Last nicht bei der Begrenzung der Kraft $F(t)$ im Glied.

Das Ausgangssystem wird mittels Differentialgleichungen [2] beschreibt

$$\begin{cases} \ddot{x}_2 m_2 = U_0(t) - \frac{m_3 g}{l} (x_2 - x_3) - W \text{sign} \dot{x}_2; \\ \ddot{x}_3 m_3 = \frac{m_3 g}{l} (x_2 - x_3), \end{cases} \quad (2.21)$$

$$\ddot{x}_3 m_3 = \frac{m_3 g}{l} (x_2 - x_3), \quad (2.22)$$

wo x_2, x_3 – die Verrückungen; \dot{x}_2, \dot{x}_3 – die Geschwindigkeiten; \ddot{x}_2, \ddot{x}_3 – die Beschleunigungen der entsprechenden Massen; m_2 – die Kranmasse; m_3 – die Lastmasse; W – Kran-verrückungswiderstand bei der Verrückung auf den Unterkranschiene; l – die Länge des flexiblen Lastaufhängens; $U_0(t)$ – Kransteuerungskraft von der Antriebsseite (von der Getriebewelle).

Bei der Aufgabelösung nehmen wir an, daß die Krangeschwindigkeit ist durch einen Wert von V_1 begrenzt.

Die aufgestellte Aufgabe wird mittels der Methoden der Optimalsteuerung gelöst. Als Steuerparameter wird $U_0(t)$ – die Kraft in der Getriebewelle – angenommen.,

Die Menge der zulässigen Steuerungen für das System (2.21)–(2.22) stellt eine Gemeinschaft der glatten Funktionen $U_0(t)$ mit der Begrenzung $U_0(t) \leq K$ dar. Im weiteren verbreiten wir diese Menge bis zur Klasse allen stückweise stetigen Funktionen bei Vorbehalten der Begrenzung, für deren [71] das Maximumprinzips von Pontrjagin gilt. Die Steuerung $U_0(t)$ für das System (2.21)–(2.22), die geschwindigkeitsoptimalen Lösung entspricht, wird auf der erweiterten Funktionsklasse bestimmt.

Überschreiben wir die Gleichungen (2.21),(2.22), wobei $x_2 = y_1, \dot{x}_2 = y_2, x_3 = y_3, \dot{x}_3 = y_4, y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2; \\ \dot{y}_2 = -\frac{m_3 g}{m_2 l} y_1 + \frac{m_3 g}{m_2 l} y_3 + U; \\ \dot{y}_3 = y_4; \\ \dot{y}_4 = \frac{g}{l} y_1 - \frac{g}{l} y_3, \end{cases} \quad (2.23)$$

wo $U = \frac{U_0(t) - W \text{sign} \dot{x}_2}{m_2}$ – Steuerparameter des Systems (2.23).

Das entsprechende konjugierte System:

$$\begin{cases} \dot{\eta}_2 = \frac{m_3 g}{m_2 l} \eta_2 - \frac{g}{l} \eta_4; \\ \dot{\eta}_1 = -\eta_1; \\ \dot{\eta}_3 = -\frac{m_3 g}{m_2 l} \eta_2 + \frac{g}{l} \eta_4; \\ \dot{\eta}_4 = -\eta_3. \end{cases} \quad (2.24)$$

Die allgemeine Lösung des Systems (2.25) $\eta = (\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4)$

$$\begin{cases} \eta_1 = -C_2 - C_3 \lambda \cos(\lambda t + \omega); \\ \eta_2 = C_1 + C_2 t + C_3 \sin(\lambda t + \omega); \\ \eta_3 = -\frac{m_3}{m_2} C_2 + C_3 \lambda \cos(\lambda t + \omega); \\ \eta_4 = \frac{m_3}{m_2} C_2 + \frac{m_3}{m_2} C_2 t + C_3 \sin(\lambda t + \omega). \end{cases} \quad (2.25)$$

wo C_1, C_2, C_3, ω – beliebige Konstanten; $\lambda = \sqrt{\frac{m_3 g}{m_2 l} + \frac{g}{l}}$.

Mag der Anfangszustand ist: $y_1 = x_0, y_2 = 0, y_3 = x_0, y_4 = 0, x_0 > 0$.

Als Zielzustand nehmen wir den Koordinatenursprung des Phasenraums des Systems (2.23) auf.

Dem Maximumprinzip nach, stellen wir die Funktion für das System (2.23) zusammen:

$$H = \eta_1 y_2 + \eta_2 \left(-\frac{m_3 g}{m_2 l} y_1 + \frac{m_3 g}{m_2 l} y_3 + U \right) + \eta_3 y_4 + \eta_4 \left(\frac{g}{l} y_1 - \frac{g}{l} y_3 \right).$$

Selbstverständlich, erreicht die H das Maximum bei $U = \max(U \text{sign } \eta_2)$. Folglich, geschieht die Bewegung im Gebiet der zulässigen Phasenkoordinaten bei $y_2 < 0$ mit

$$u_1 = \frac{W - k}{m_2} \text{ oder } u_2 = \frac{W + k}{m_2}; \text{ bei } y_2 > 0$$

$$\text{mit } u_3 = -\frac{W + K}{m_2} \text{ oder } u_4 = \frac{K - W^2}{m_2}.$$

Die Lösung des Systems (2.23) bei den beliebigen u und beim Anfangszustand $y_0 = (y_{01}, y_{02}, y_{03}, y_{04})$:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1(t) = b_1 + b_2 t - b_3 \frac{m_3}{m_2} \cos \lambda t - b_4 \frac{m_3}{m_2} \sin \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l \lambda^2} (t - \tau) + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l \lambda^2} \right) (t - \tau) \right] u(\tau) d\tau; \\ y_2(t) = b_2 + b_3 \lambda \frac{m_3}{m_2} \sin \lambda t - b_4 \lambda \frac{m_3}{m_2} \cos \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l \lambda^2} + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l \lambda^2} \right) \cos(t - \tau) \right] u(\tau) d\tau; \\ y_3(t) = b_1 + b_2 \tau + b_3 \cos \lambda t - b_4 \sin \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l \lambda^2} (t - \tau) - \frac{g}{l \lambda^3} \sin \lambda (t - \tau) \right] u(\tau) d\tau; \\ y_4(t) = b_2 - b_3 \lambda \sin \lambda t + b_4 \lambda \cos \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l \lambda^2} - \frac{g}{l \lambda^3} \cos \lambda (t - \tau) \right] u(\tau) d\tau, \end{array} \right. \quad (2.26)$$

wo

$$b_1 = y_{03} \frac{m_3}{m_2 + m_3} + y_{01} \frac{m_2}{m_2 + m_3};$$

$$b_2 = y_{04} \frac{m_3}{m_2 + m_3} + y_{02} \frac{m_2}{m_2 + m_3};$$

$$b_3 = (y_{03} - y_{04}) \frac{m_2}{m_2 + m_3};$$

$$b_4 = (y_{04} - y_{02}) \frac{m_2}{m_2 + m_3} \frac{1}{\lambda}.$$

Die Laufbähne des Systems (2.23) bei $u = u_k$ ($k = 1, 2, 3, 4$) befriedigen jeweils den Gleichungen

$$\left[\lambda \left(y_3 - y_1 + \frac{W - K}{m_2 \lambda^2} \right) \right]^2 + (y_2 - y_4)^2 = \left(b_3 \lambda^3 \frac{l}{g} \right)^2 + \left(b_4 \frac{l}{g} \lambda^3 \right)^2 + \left(\frac{W - K}{m_2 \lambda} \right)^2 + 2 b_3 \frac{l}{g} \frac{W + K}{m_2} \lambda^2;$$

$$\left[\lambda \left(y_3 - y_1 + \frac{W + K}{m_2 \lambda^2} \right) \right]^2 + (y_2 - y_4)^2 = \left(b_3 \lambda^3 \frac{l}{g} \right)^2 + \left(b_4 \frac{l}{g} \lambda^3 \right)^2 + \left(\frac{W - K}{m_2 \lambda} \right)^2 + 2 b_3 \frac{l}{g} \frac{W + K}{m_2} \lambda^2;$$

$$\left[\lambda \left(y_3 - y_1 - \frac{W + K}{m_2 \lambda^2} \right) \right]^2 + (y_2 - y_4)^2 = \left(b_3 \lambda^3 \frac{l}{g} - \frac{K - W}{m_2 \lambda} \right)^2 + \left(b_4 \frac{l}{g} \lambda^3 \right)^2;$$

$$\left[\lambda \left(y_3 - y_1 + \frac{K - W}{m_2 \lambda^2} \right) \right]^2 + (y_2 - y_4)^2 = \left(b_3 \lambda^3 \frac{l}{g} - \frac{K - W}{m_2 \lambda} \right)^2 + \left(b_4 \frac{l}{g} \lambda^3 \right)^2.$$

Die ortogonale Projektionen dieser Laubähne auf der Ebene der Variablen $\xi_1 = \lambda(y_3 - y_1)$, $\xi_2 = y_2 - y_4$ stellen sich die Kreislinien mit den Mittelpunkte in $O_1 \left(\frac{K-W}{m_2\lambda}, O \right)$, $O_2 \left(-\frac{K+W}{m_2\lambda}, O \right)$, $O_3 \left(\frac{K-W}{m_2\lambda}, O \right)$ und $O_4 \left(-\frac{K+W}{m_2\lambda}, O \right)$ dar (Abb. 2.11).

Die Projektion des Phasenpunktes bewegt sich auf den Kreislinien gleichmäßig mit der Winkelgeschwindigkeit λ in die Gegenuhrzeigerrichtung.

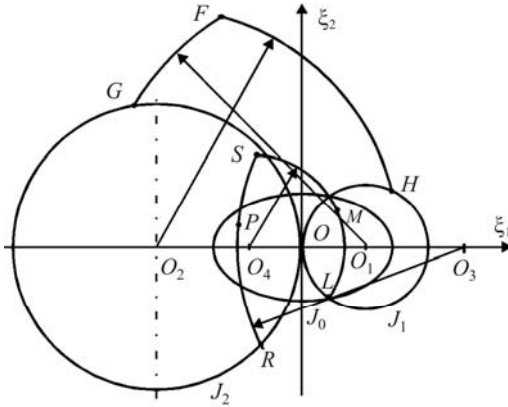


Abb. 2.11. Projektionen der Phasenlaufbahn bei der Bewegung ohne Δ -Begrenzung

Nehmen wir an, daß auf der Systembewegung keine Begrenzung vorhanden ist. Dann wird die Optimalsteuerung: Bewegung auf J_1 Bremsenstufe – Bewegung auf J_2 und Übergang von J_1 auf J_2 , der in Voraussetzung des Treffens im Koordinatensprung des Phasenraumes durchgeführt wird. Auf der Abb. 2.11 sind verschiedene Bewegungsvariante dargestellt.

Wenn während der Beschleunigung war die Geschwindigkeit grob genug, so geschieht das Treffen von I_1 auf I_2 auf der irgendwelcher Laufbahn HFG . Anderenfalls, kann die Übergangslaufbahn einen Bewegungsabschnitt $y_2 > 0$ beinhalten – MSR . Dabei sind zwei Zeitpunkte zu bestimmen, die den Punkte H und F entsprechen. Sie kann man mittels Bedingungen $y_1 = y_2 = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ am Ende der Bewegung bestimmen, aufgrund der Lösung (6) und der Steuerungsformel $u(t)$.

Mag ist eine Geschwindigkeitsbegrenzung $|y_2| \leq V_1$ vorhanden. Dann wird eine Bewegungsstufe mit Nenngeschwindigkeit $y = -V$ entstehen, weil $x_0 > 0$. Weil $y_2(t)$ bekannt ist, finden wir die Gleichung, die diese Steuerung realisiert, auf.

$$u(t) = -\frac{m_3}{m_2} \frac{g}{l} \left[(y_{03} - y_{01}) \cos \mu t + (y_{04} - y_{02}) \frac{\sin \mu t}{\mu} \right]. \quad (2.27)$$

Auf der Phasenebene $\varepsilon_1 \varepsilon_2$ entspricht dieser Gleichung die Bewegung des Phasenpunktes auf der Ellipse J_0 in die Gegenuhrzeigerrichtung.

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_{01} \cdot \cos \mu t - \frac{\lambda}{\mu} \varepsilon_{02} \cdot \sin \mu t; \\ \varepsilon_2 &= \frac{\mu}{\lambda} \varepsilon_{01} \cdot \sin \mu t + \varepsilon_{02} \cdot \cos \mu t, \end{aligned}$$

oder $\varepsilon_1^2 + \frac{\varepsilon_2^2}{a^2} = \varepsilon_{01}^2 + \frac{\varepsilon_{02}^2}{a^2}$, wo $\mu = \sqrt{\frac{g}{l}}$; $a = \sqrt{\frac{m_2}{m_2 + m_3}}$,

$$\varepsilon_{01} = \lambda(y_{03} - y_{01}), \quad \varepsilon_{02} = y_{02} - y_{04}.$$

Bei der Begrenzung $|y_{02}| \leq V_1$ beendet die Beschleunigung auf der J_1 im Augenblick des Erreichens der Nenngeschwindigkeit. Dann bewegt sich das System auf J_0 . Der Übergang zum Bremsen wird wie vorig ausgeführt, doch im Übergangsvorgang kann ein Bewegungsabschnitt mit der Nenngeschwindigkeit entstehen.

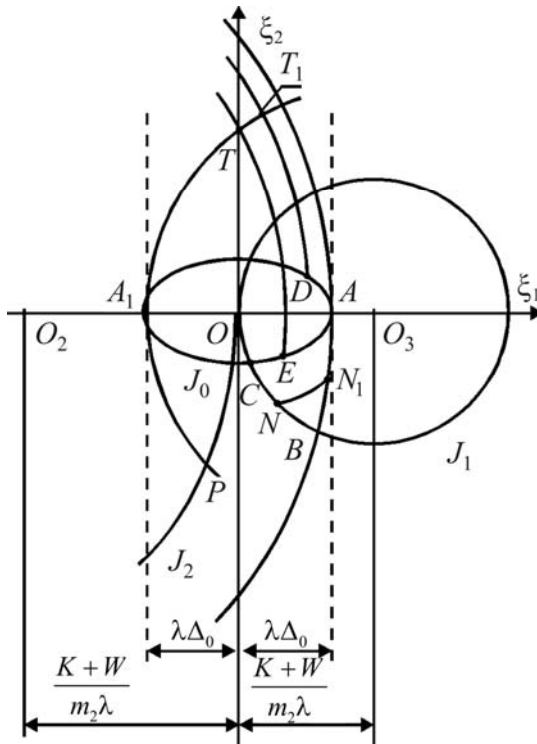


Abb. 2.12. Projektion der Phasenlaufbahn des

$$\text{System bei } \Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_2 \lambda^2}$$

V_1 entstehen und optimal wird die Laufbahn ONN_1A geworden, wo N – der Punkt des Erreichens der Nenngeschwindigkeit.

Aufgrund der Gleichung $y_3(t) - y_1(t) = \Delta_0$ kann man die Bewegungssteuerung im (2.28) bestimmen – $u = -\Delta_0 \lambda^2$.

Der Annahme nach ist das eine zulässige Steuerung.

Jetzt berücksichtigen wir die Begrenzung auf $\Delta = y_3 - y_1$ bei der fixierten l : $|\Delta| \leq \Delta_0$. Ist x_0 genügend klein, so werden die obengenannten Begrenzungen unwesentlich, und dann wird die Aufgabe zu den schon erorteten Falle zurückgeführt.

$$\text{Mag } \Delta \leq \frac{K-W}{m_2 \lambda^2} \quad (\text{Abb. 2.12}). \text{ Dann}$$

ist die Optimallaufbahn mit dem Treffen auf der Vielgestaltigkeit

$$\begin{cases} y_1 - y_3 = -\Delta_0; \\ y_2 - y_4 = 0, \end{cases} \quad (2.28)$$

verbunden, oder mit dem Treffen in den Punkt A und weiteren Bewegung bei $\Delta = \Delta_0$. Wird die Nenngeschwindigkeit auf dem Abschnitt CB nicht erreicht, so ist die Projektion des optimalen Treffens auf (2.28) – die Bogen OB , BA . Anderenfalls wird ein Bewegungsabschnitt bei $y_{02} = -$

Wenn $\Delta_0 > \frac{K-W}{m_2\lambda^2}$, so liegt der Punkt O_1 im Gebiet der zulässigen Koordinaten. Dabei,

um die Grenze $\xi_1 = \lambda\Delta_0$ nicht überqueren, ist es notwendig von der Kreislinie J_1 auf irgendwelche Kreislinie mit dem Radius r des Systems (2.23) bei $u = u_1$ übergehen:

$\lambda\Delta_0 - \frac{K-W}{m_2\lambda^2} \leq r < \frac{K-W}{m_2\lambda^2}$; dabei ist die Steuerungsart im wesentlichen von den Größen x_0 ,

V_1 abhängig. Ist die Größe V_1 groß genug, so wird der Übergang von J_1 auf J_2 auf der kürzesten Bogen, die diese Kreislinien verbindet bei $u = u_1$, geschehen. Aufgrund des Maximumprinzips kann man alle mögliche Bewegungs-variante beschreiben und die beste mittels Durchspielen zu bestimmen.

Die Koordinaten von allen Steuerungsumschaltungspunkte kann man aufgrund der Bewegungsgeometrie (Abb. 2.10–2.11) bestimmen. Wenn die Bewegungsgeschwindigkeit des Phasenpunktes auf der Kreislinie bekannt ist, so ist es jeweilige Zeitpunkte leicht zu bestimmen. Nach der Beendigung der Beschleunigung ist die Bewegung mit der Nenngeschwindigkeit unter der Wirkung der Steuerung (2.27) möglich. Bei $m_2 > m_3$ wird sie zulässig und die Begrenzung $|\Delta| \leq \Delta_0$ bleibt dabei unverstört.

Bilden wir ein Optimalbremsengesetz mit Berücksichtigung der obengenannten Begrenzungen. Deren Vorhandensein führt zur Entstehung des Zwischenbremsens auf der Vielgestaltigkeit

$$\begin{cases} y_1 - y_3 = -\Delta_0; \\ y_2 - y_4 = 0, \end{cases} \quad (2.29)$$

bei $\Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_2\lambda^2}$, oder auf der irgendwelchen Bogen einer Kreislinie des Systems (2.23) bei

$u = u_2$, $\Delta_0 > \frac{K-W}{m_2\lambda^2}$. Im ersten Fall wird die optimale Bremsenlaufbahn ETA_1A_1PO (Abb.

2.11), wo A_1A_1 – ein Bewegungsabschnitt in (2.29). Im zweiten Fall kann man das Bremsengesetz wie bei der Beschleunigung suchen.

Bei der Bildung der Bremsensteuerung kann man es erweisen, daß auf dem Abschnitt T_1A_1 die Geschwindigkeit größer als die Nenngeschwindigkeit ist. Eine Menge von solchen Bremsenanfangspunkte stellt sich irgendwelche Bogen I dar. Falls $\Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_2\lambda^2}$ – ist das die

Bogen DA_1 (Abb. 2.11). In solcher Situation, um im Koordinatenursprung des Phasenraumes des System (2.24) zu treffen, muß man von D in A_1 übergehen, und dann muß man sich mit der Nenngeschwindigkeit bewegen bis das Bremsengesetz, das ähnlich dem obengenannten Gesetz ist, bringt das System in den Koordinatenursprung. Wenn I genügend klein im

Vergleich mit $\lambda\Delta_0$ ist, so gibt es ein solcher Bogen nicht. Wie im vorigen, werden alle Umschaltungszeitpunkte mit Hilfe der Bewegungsgeometrie und der Bedingungen, die auf diese Bewegung angelegt wurden, bestimmen.

Also, haben wir eine geschwindigkeitsoptimale oder genügend nahe Steuerungsfunktion $u(t)$ für das System (2.23) erhalten. Sie ist stückweise stetig und stellt sich eine reale zulässige Steuerung auf jedem Stetigkeitsabschnitt dar. Die Möglichkeiten des Hydroantriebs lassen dieses Gesetz genügend genau zu realisieren [77].

Im weiteren wird ein Beispiel für den Brückenkran mit Tragfähigkeit 30/5 t und mit der Spannweite 22,5 m (Produzent – Charkower Fördereinrichtungswerk) herbeigeführt. Der getrennte hydrostatische Antrieb des Kranverrückungsmechanismus besteht aus Pumpen ПД №5, Hydromotoren ИИМ №5 und Antiebsselektromotoren АО-62-4. Die Parameterwerte im Schema auf der Abb. 2.5: $m_2 = 22100$ kg, $m_3 = 15300$ kg, $l = 13$ m, $W = 3300$ N.

Es ist der Fall betrachtet, wann die Kraft in der Welle $u_0(t)$ ist durch den Wert $K = 6900$ N begrenzt, dabei beträgt der Druck im Hydrosystem 10 MPa. Es ist die Begrenzung auf der Lastabweichung von der Vertikale eingegeben: $\Delta_0 = 0,1$ m. Die Nenngeschwindigkeit der Kranbewegung $V_1 = 1,26$ m/s. Der Kran muß es anhalten ohne Lastaufschaukeln nach der Verrückung auf der Entfernung $x_0 = 30$ m.

Auf der Abb. 2.13 sind die Abhängigkeiten für die Geschwindigkeiten, für den Verrückungsweg des Kranes, für die Kraft in der Welle und für die Lastabweichung von der Zykluszeit bei der geschwindigkeitsoptimalen Steuerung und bei den eingegebenen Begrenzungen dargestellt.

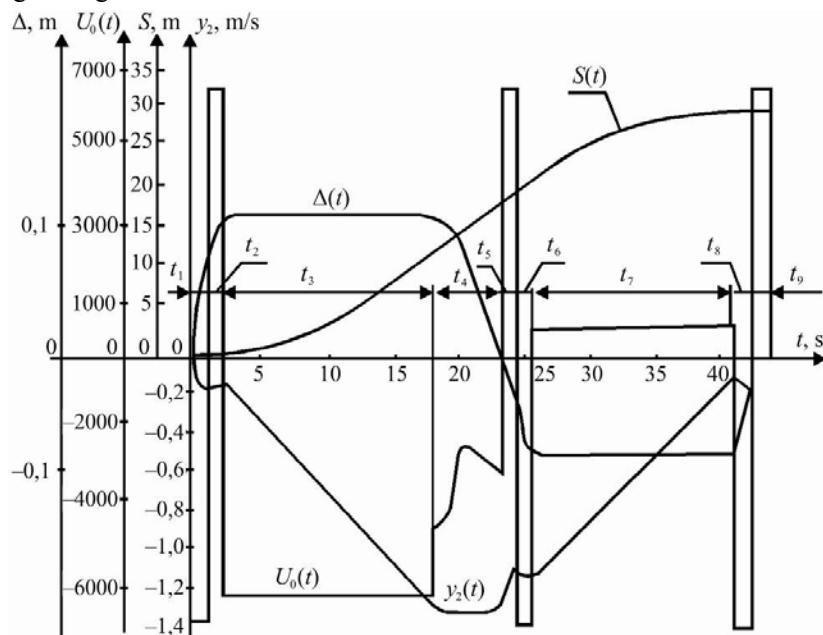


Abb. 2.13. Schaubilder der Übergangsvorgänge des Torkranes mit Krantragfähigkeit 30/5 t

2.8. Квазіоптимальні закони керування.

Quasioptimale Steuerungsgesetze

Die Steuerungsgesetze, die im diesen Abschnitt erhalten sind, entsprechen der Forderung der maximalen Geschwindigkeit, aber der Suchalgorithmus für sie ist ziemlich kompliziert und benötigt der Ausführung von vielen Berechnungen. Ausgehend davon, ist in einigen Fälle die Verwendung der einfachsten Steuerungsgesetze, für deren Erhaltung die größte Rechenzeiten nicht benötigt sind, sehr wünschenswert. Diese Gesetze müssen den geschwindigkeitsoptimalen Gesetze nahe liegen. Solche Gesetze werden wir als quasioptimalen kennzeichnen.

Mit Hilfe der Methode der Phasenebene, kann man die einfache Verfahren für die quasioptimalen Steuerungsgesetze erhalten, wenn werden wir die Lastschwingungen nicht nur während des Laufkatzenbremsens, sondern auch bei der Beschleunigung dämpfen. Betrachten wir zwei kennzeichnende Steuerungsarten: die erste – ohne Berücksichtigung der Begrenzungen auf der Lastabweichung von der Vertikale; die zweite- mit Berücksichtigung.

Die erste Steuerungsart. Phasendiagramm ist auf der Abb. 2.14 dargestellt. Betrachten wir die Laufkatzenbeschleunigung, die in drei

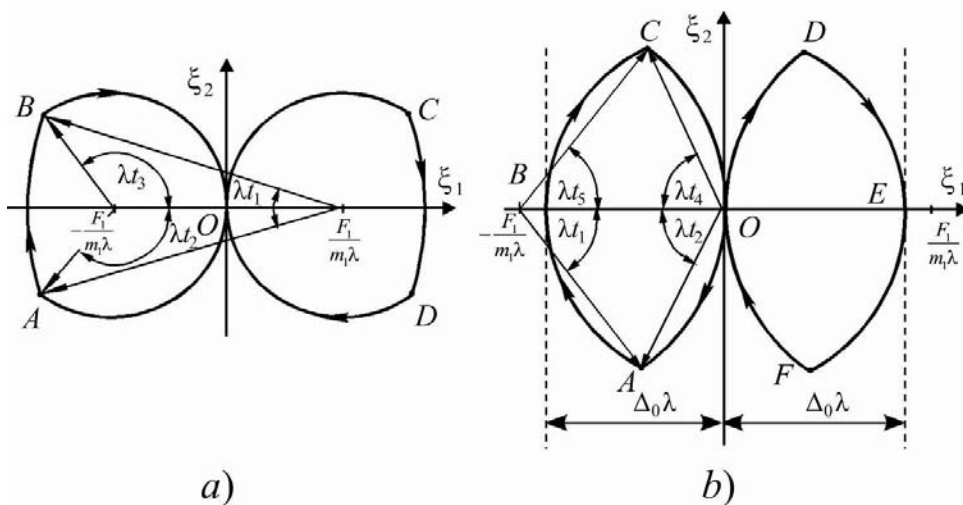


Abb. 2.14. Phasendiagrammen bei der quasioptimale Steuerung

a – ohne Δ -Begrenzung; b – bei der Begrenzung $|\Delta| \leq \Delta_0$

Stufen geschehen wird, wobei während des ersten und dritten Zeitintervalls, die gleich sind, wirkt auf der Laufkatze eine Basiskraft F_1 in der Bewegungsrichtung, und während des zweiten Zeitintervalls wirkt diese Kraft in gegenwärtigen Richtung. Um die Wirkung der Bewegungswiderstandskraft der Laufkatze W zu kompensieren, nehmen wir an, daß während

allen drei Zeitintervalle wirkt eine Zusatzkraft, deren Wert gleich W ist und die in gegenwärtigen Richtung wirkt. Das erste Zeitintervall wird willkürlich eingegeben, aber seine Dauer muß die Halbperiode der Lasteigenschwingungen nicht überschreiten. Dann mit Hilfe der Formel (2.29) können wir die Dauer des zweiten Intervalls t_2 bestimmen

$$t_2 = \frac{2}{\lambda} \arctg \left(\frac{\sin \lambda t}{2 - \cos \lambda t} \right). \quad (2.29)$$

Um am Ende der Beschleunigung war die Laufkatzensgeschwindigkeit der Nenngeschwindigkeit gleich zu sein, muß der Wert der Basiskraft durch folgende Formel bestimmen

$$F_1 = (m_1 + m_2) \frac{V_0}{2t_1 - t_2}. \quad (2.30)$$

Also, um diese Steuerung (Abb. 2.15) zu erhalten, sind minimale Berechnungen benötigt. Die Formeln (2.29) und (2.30) sind auch während des Bremsens gültig, wo die Kraft F_1 in allen Zeitintervallen hat ein gegenwärtigen Richtung im Vergleich mit der Laufkatzenbeschleunigung.

Die zweite Steuerungsart. Berücksichtigen wir die Begrenzung der Lastabweichung von der Vertikale. Wie auf der Abb. 2.14 gezeigt ist, muß die Laufkatzenbeschleunigung in fünf Stufen geschehen, wobei $t_1 = t_5$, $t_2 = t_4$ und

$$t_1 = t_5 = \frac{1}{\lambda} \arccos \left(1 - \frac{\Delta_0^2 \lambda^4 m_1^2}{2F_1^2} \right); \quad (2.31)$$

$$t_2 = t_4 = \frac{\Pi}{2\lambda} - \frac{t_1}{2}, \quad (2.32)$$

wo F_1 – die Basiskraft, die auf der Laufkatze wirkt nur im ersten und fünften Zeitintervall, und im zweiten und vierten Zeitintervall – $F_1 = 0$. Während des dritten Zeitintervalls geschieht die Bewegung in der abgewichenen Zustand wegen der Wirkung der Kraft $F_0 = m_1 \Delta_0 \lambda^2$ während der Zeit

$$t_3 = \left(V_0 - \frac{2F_0 t_1}{m_1 + m_2} \right) \frac{l}{g \Delta_0}. \quad (2.33)$$

Im Ergebnis war das quasioptimale Steuerungsgesetz (Abb. 2.15) erhalten, das die Lastschwingungen während der Beschleunigung bei den Begrenzungen zu dämpfen labt. Das

Laufkatzenbremsen wird auf ähnliche Weise durchgeführt nur mit dem Unterschied, daß die Basiskraft F_1 und die festhaltende Kraft F_0 im gegenwärtigen Richtung im Vergleich mit der Beschleunigung. Auf dieser Steuerungsart war ein Autorenurkunde erhalten.

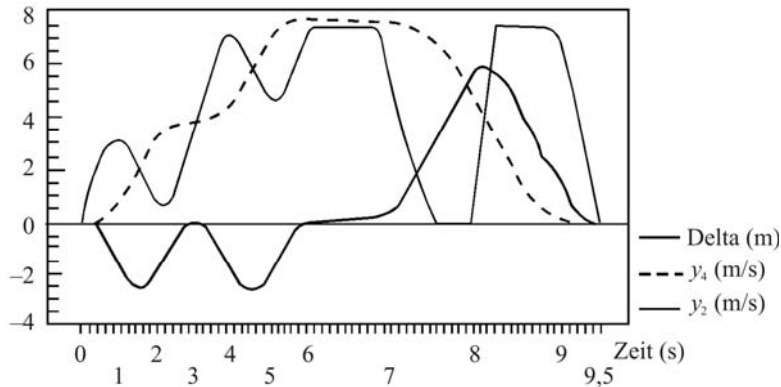


Abb. 2.15. Optimale Kransteuerung N2:

$P1 = 10,3 \text{ t}$; $P2 = 0,6 \text{ t}$; $FR = 6 \text{ kN}$; $FT = 6 \text{ kN}$; $\omega = 1 \text{ kN}$;
 $XN = 8 \text{ m}$; $V1 = 1 \text{ m/s}$; $DO = 5 \text{ m}$; $TPO = 0 \text{ s}$; $TPC = 0 \text{ s}$; $EPC = 0,01$

Die zwei erörterten Steuerungsarten können in diejenigen Fälle Anwendung finden, wann die maximale Geschwindigkeit nicht die Hauptforderung ist und wenn die Übergangsvorgängedauer ein unwesentlichen Teil der Gesamtzeit des Umladezyklus bildet, zum Beispiel, bei den groben Laufkatzenverschiebungen.

2.9. Теоретичні дослідження оптимального керування візком при постійній довжині підвісу.

Theoretische Untersuchungen der Laufkatzen- Optimalsteuerung bei der Konstanten Lastaufhängenlänge

2.9.1. Постановка задачі. Aufgabenstellung

Greifer-Bunker-Umlader oder ein Brückenkran kann man als Zweimassenmodell (Abb. 2.16) darstellen, das aus eine Laufkatze mit der Masse m_1 und ein Greifer mit der Masse m_2 , der auf dem einen flexiblen Seil mit der Länge l aufhängen wurde. Auf der Laufkatze wirken eine bewegend Kraft $F(t)$ und statische Widerstands-kraft W .

Die Bewegung dieses Modells kann man mit dem Differentialgleichungssystem beschreiben:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = U(t) - \frac{m_2 g}{m_1 l} (x_1 - x_2); \\ \ddot{x}_2 = \frac{g}{l} (x_1 - x_2), \end{cases} \quad (2.34)$$

wo $u(t) = \frac{F(t) - W \operatorname{sign} \dot{x}_1}{m_1}$; $x_1, \dot{x}_1, \ddot{x}_1$ – Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung

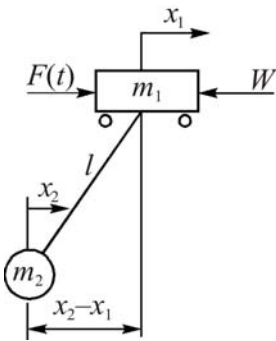


Abb. 2.16. Berechnungsschema des Umladers

der Laufkatze; $x_2, \dot{x}_2, \ddot{x}_2$ – Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Lastes; g – Erdbeschleunigung.

Führen wir ein Variablenaustausch aus $y_1 = x_1$; $y_2 = \dot{x}_1$; $y_3 = x_2$; $y_4 = \dot{x}_2$.

y_1 und y_2 – Verschiebung und Geschwindigkeit der Laufkatze;

y_3 und y_4 – Verschiebung und Geschwindigkeit des Lastes.

Jetzt kann man das Gleichungssystem (2.34) in die kanonische Form umschreiben:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2 \\ \dot{y}_2 = -\frac{m_2 g}{m_1 l} y_1 + \frac{m_2 g}{m_1 l} y_3 + U(t) \\ \dot{y}_3 = y_4 \\ \dot{y}_4 = \frac{g}{l} (y_1 - y_3) \end{cases} \quad (2.35)$$

Als Steuerparameter ist die bewegende Kraft $F(t)$ ausgewählt. Aber im weiteren werden wir aus Bequemlichkeitsgründe $U(t)$, die proportionell zu $F(t)$ ist, als Steuerparameter zu betrachten.

Optimisationsaufgabe kann man so formulieren: es ist ein solches Steuerungsgesetz $U(t)$ zu bestimmen, bei dem verschiebt sich die Laufkatze mit auf dem Seil aufgehängenden Last auf die vorgegebene Entfernung S während der minimalen Zeit t_0 und bei der vollen Schwingungsdämpfung am Ende der Bewegung.

Dabei sind folgende Begrenzungen zu erfüllen

$$\begin{aligned} |F(t)| &\leq K, \\ y_2 &\leq V_0, \end{aligned} \quad (2.36)$$

wo K – maximale bewegende Kraft; V_0 – Laufkatzenennengeschwindigkeit.

2.9.2. Визначення виду оптимального керування. Bestimmung der Optimalsteuerungsart

Um die Art der Optimalfunktion $U(t)$ zu bestimmen, verwenden wir das Maximumprinzip von L.S. Pontrjagin [71].

Schreiben wir für das Differentialgleichungssystem (2.34) ein konjugiertes Gleichungssystem

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 &= \varphi_2 \frac{m_2 g}{m_1 l} - \varphi_4 \frac{g}{l}; \\ \dot{\varphi}_2 &= -\varphi_1; \\ \dot{\varphi}_3 &= -\varphi_2 \frac{m_2 g}{m_1 l} - \Gamma \varphi_4 \frac{g}{l}; \\ \dot{\varphi}_4 &= -\varphi_3,\end{aligned}$$

und seine Lösungen

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= -C_2 - C_3 \lambda \cos(\lambda t + \alpha); \\ \varphi_2 &= C_1 + C_3 t + C_3 \sin(\lambda t + \alpha); \\ \varphi_3 &= -\frac{m_2}{m_1} C_2 + C_3 \lambda \cos(\lambda t + \alpha); \\ \varphi_4 &= \frac{m_2}{m_1} C_1 + \frac{m_2}{m_1} C_2 t - C_3 \sin(\lambda t + \alpha),\end{aligned}$$

wo $\lambda = \sqrt{\frac{g}{l} \left(\frac{m_2}{m_1} + 1 \right)}$; C_1, C_2, C_3, α – konstante Koeffizienten.

Hamiltonische Funktion:

$$H = \varphi_1 y_2 - \varphi_2 \frac{m_2 g}{m_1 l} (y_1 - \varphi_3) + \varphi_2 U(t) + \varphi_3 y_4 + \varphi_4 \frac{g}{l} (y_1 - y_3).$$

Dem Maximumprinzip von L.S. Pontrjagin nach, wird die Steuerung $u(t)$ geschwindigkeitsoptimal und das optimale Steuerungsgesetz stellt sich eine Relaisfunktion dar:

$$\begin{aligned}U(t) &= \text{sign} [C_1 + C_2 t + C_3 \sin(\lambda t + \alpha)], \\ &\max |U(t)|.\end{aligned}\tag{2.37}$$

2.9.3. Розв'язання вихідної системи диференціальних рівнянь. Die Lösung des Ausgangssystem der Differentialgleichungen

Das Gleichungssystem (2.34) stellt sich ein nicht homogenes System der linearen Differentialgleichungen mit den konstanten Koeffizienten dar.

Aufgrund der Methoden von Euler und Lagrange kann man die Lösungen des Systems (2.34) analytisch erhalten:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= b_1 + b_2 t - b_3 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l\lambda^2} (t-\tau) + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l\lambda^3} \right) \sin(t-\tau) \right] U(\tau) d(\tau); \\
 y_2 &= b_2 + b_3 \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l\lambda^2} + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l\lambda^2} \right) \cos(t-\tau) \right] U(\tau) d(\tau); \\
 y_3 &= b_1 + b_2 t - b_3 \cos \lambda t - b_4 \sin \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l\lambda^2} (t-\tau) + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l\lambda^3} \right) \sin(t-\tau) \right] U(\tau) d(\tau); \\
 y_4 &= b_2 - b_3 \lambda \sin \lambda t + b_4 \lambda \cos \lambda t + \int_0^t \left[\frac{g}{l\lambda^2} + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l\lambda^2} \right) \cos(t-\tau) \right] U(\tau) d(\tau),
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

wo

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} y_{01} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} y_{03}; \\
 b_2 &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} y_{02} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} y_{04}; \\
 b_3 &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} (y_{03} - y_{01}); \\
 b_4 &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} (y_{04} - y_{02}),
 \end{aligned}$$

y_{0i} ($i = 1 \dots 4$) – Ausgangsphasenkoordinaten.

Ausgehend aus der Tatsache, da die Optimalsteuerung ist eine Relaisfunktion und auf jeder Stufe $u(t) = u_0 = \text{const}$, kann man die Lösungen des Systems (2.38) auf solche Weise aufschreiben:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= b_1 + b_2 t - b_3 \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t + U_0 \left[\frac{gt^2}{2l\lambda^2} + \left(\frac{1}{\lambda^2} - \frac{g}{l\lambda^4} \right) (1 - \cos \lambda t) \right] U(t) d(t); \\
 y_2 &= b_2 + b_3 \frac{m_2}{m_1} \lambda \sin \lambda t - b_4 \frac{m_2}{m_1} \lambda \cos \lambda t + \frac{U_0}{\lambda} \left[\frac{g}{l\lambda} t + \left(1 - \frac{g}{l\lambda^2} \right) \sin \lambda t \right] U(t) d(t); \\
 y_3 &= b_1 + b_2 t - b_3 \cos \lambda t - b_4 \sin \lambda t + \frac{gU_0}{l\lambda^2} \left[\frac{t^2}{2} - \frac{1}{\lambda^2} (1 - \cos \lambda t) \right]; \\
 y_4 &= b_2 - b_3 \lambda \sin \lambda t - b_4 \lambda \cos \lambda t + \frac{gU_0}{l\lambda^2} \left[t - \frac{\sin \lambda t}{\lambda} \right],
 \end{aligned} \tag{2.39}$$

wo

$$U_0 = \begin{cases} \frac{K-W}{m_1} & \text{– bei der Beschleunigung;} \\ -\frac{K+W}{m_1} & \text{– beim Bremsen.} \end{cases}$$

2.9.4. Метод фазової площини. Die Methode der Phasenebene

Das Bewegungsvorgang des Untersuchungsmodelles ist auf der Phasenebene mit den Koordinatenachsen (ξ_1, ξ_2) bequem zu betrachten.

$$\begin{cases} \xi_1 = (y_3 - y_1)\lambda; \\ \xi_2 = (y_4 - y_2). \end{cases}$$

Kann man zeigen, da

1. Bei der Laufkatzenbeschleunigung, wann $U_0 = \frac{K-W}{m_1}$, die Projektion des Phasenpunktes auf der Ebene (ξ_1, ξ_2) ist die Schar der konzentrischen Kreislinien mit dem Mittelpunkt im $O_1\left(-\frac{K-W}{m_1}, O\right)$ (Abb. 2.17), deren Gleichungen sind:

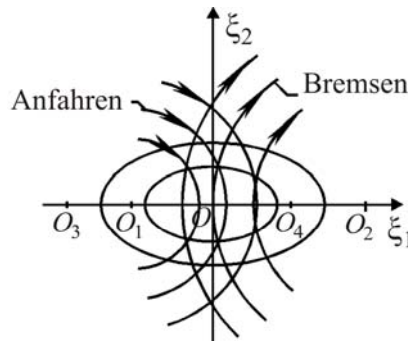


Abb. 2.17. Phasentrajektorienarten

$$\left(\xi_1 + \frac{U_0}{\lambda}\right)^2 + \xi_2^2 = \left(\frac{U_0}{\lambda}\right)^2 + b_3^2 \lambda^2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)^2 + 2U_0 b_3 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \quad (2.40)$$

2. Beim Laufkatzenbremsen, wann $U_0 = -\frac{K+W}{m_1}$, die Projektion des Phasenpunktes auf der Ebene (ξ_1, ξ_2) ist die Schar der konzentrischen Kreislinien mit dem Mittelpunkt im $O_2\left(\frac{K+W}{m_1\lambda}, O\right)$ (Abb. 2.17).

3. Bei der Laufkatzenbeschleunigung in der R ckrichtung, wann $U_0 = -\frac{K-W}{m_1}$ und $y_2 < 0$, die Projektion des Phasenpunktes auf der Ebene (ξ_1, ξ_2) ist die Schar der konzentrischen Kreislinien mit dem Mittelpunkt im $O_3\left(\frac{K-W}{m_1\lambda}, O\right)$ (Abb. 2.17).

4. Beim Laufkatzenbremsen in der Rückrichtung, wann $U_0 = \frac{K+W}{m_1}$ und $y_2 < 0$, die Projektion des Phasenpunktes auf der Ebene (ξ_1, ξ_2) ist die Schar der konzentrischen Kreislinien mit dem Mittelpunkt im $O_4\left(-\frac{K+W}{m_1\lambda}, O\right)$ (Abb. 2.17).

5. Bei der Laufkatzenbewegung mit der Nenngeschwindigkeit, wann

$$U(t) = -\frac{m_2 g}{m_1 l} \left[(y_{03} - y_{01} \cos \mu t) + \left(y_{04} - y_{02} \frac{\sin \mu t}{\mu} \right) \right], \quad (2.41)$$

wo $\mu = \sqrt{\frac{g}{l}}$, die Projektion des Phasenpunktes auf der Ebene (ξ_1, ξ_2) ist die Schar der Ellipsen, deren Gleichung ist

$$\frac{\xi_1^2}{\xi_{10}^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu} \xi_{20}\right)^2} + \frac{\xi_2^2}{\left(\frac{\mu}{\lambda} \xi_{10}\right)^2 + \xi_{20}^2} = 1 \quad (2.42)$$

6. Die Bewegung auf der Phasenlaufbahn geschieht gleichmäßig in Uhrzeigerrichtung.

7. Der Radius der Kreislinie und die Größe der Halbachsen der Ellipse sind von den Ausgangphasenzustände abhängig.

8. Die Zeit der Bewegung auf dem jeden Bogen ist proportionell der Größe des Zentriwinkels, auf dem dieser Bogen sich stützt. Sie kann man ermitteln nach der Formel

$$t_i = \varphi_i / \lambda \quad (i = 1, 2, \dots - \text{Stufennummer}).$$

Hier ist φ_i die Größe des Zentriwinkels, auf dem dieser Bogen sich stützt.

2.9.5. Оптимізація руху крана (візка) з масою більшою за масу вантажу. Die Bewegungsoptimierung des Kranes (der Laufkatze) mit der Masse, die größer als die Lastmasse ist

Betrachten wir die Aufgabe der optimalen Laufkatzenverschiebung mit dem auf dem Seil aufgehängenden Last auf die vorgegebene Entfernung für die minimale Zeit bei der Bedingung, da der Lastabweichung von der Vertikale während des gesamten Umladezyklus eine vorgegebene Größe Δ_0 nicht überschreitet. Wie während der Untersuchungen gezeigt wurde, in Abhängigkeit von der Größe Δ_0 sind zwei Steuerungsarten möglich.

Soll $\Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$. In diesem Fall ist die optimale Laufbahn mit Treffen auf der Vielgestaltigkeit oder in den Punkt A (Abb. 2.18) und mit der weiteren Bewegung auf dieser Vielgestaltigkeit verbunden (d.h. bei $\Delta = \Delta_0$).

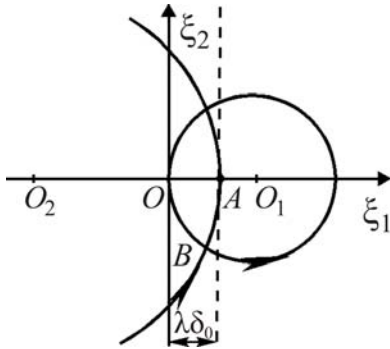


Abb. 2.18. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei Beschleunigung bei $\Delta_0 \leq \frac{K-\omega}{m_2-\lambda^2}$

$$\begin{cases} y_1 - y_3 = -\Delta_0; \\ y_2 - y_4 = 0. \end{cases} \quad (2.43)$$

Aus der Transversalitätsbedingung für (2.35) kann man herausfinden

$$\eta_2(t) = C \sin(\lambda t + \alpha), \quad (2.44)$$

wo C, α – Konstante.

Offensichtlich, um in den Punkt A zu treffen, muß die Projektion der optimalen Laufbahn auf ξ_1 und ξ_2 die Bogen OBA sein.

Um den Zeitaugenblick t_1 zu bestimmen, der der Umschaltung im Punkt B (ξ_{1b}, ξ_{2b}) entspricht, haben wir:

$$\begin{aligned} \left(\xi_{1b} + \frac{W-K}{m_1 \lambda} \right)^2 + \xi_{2b}^2 &= \left(\frac{W-K}{m_1 \lambda} \right)^2; \\ \xi_{1b} + \frac{W+K}{m_1 \lambda} + \xi_{2b}^2 &= \left(\frac{W+K}{m_1 \lambda} + \lambda \right)^2; \\ \xi_{1b} + \left[\left(\frac{W+K}{m_1 \lambda} + \lambda \Delta_0 \right)^2 - \left(\frac{W+K}{m_1 \lambda} \right)^2 \right] \frac{m_2 \lambda}{4K}; \\ \cos \lambda t_1 &= \frac{\frac{K-W}{m_1 \lambda} - \xi_{1b}}{\frac{K-W}{m_1 \lambda}}. \end{aligned} \quad (2.45)$$

Um den Augenblick des Treffens in den Punkt A $t_1 + t_2$ zu bestimmen

$$\cos \lambda t_2 = \frac{\frac{K+W}{m_1 \lambda} + \xi_{1b}}{\frac{K+W}{m_1 \lambda} + \gamma \Delta}. \quad (2.46)$$

Aus der Gleichung $y_3(t) - y_1(t) = \Delta_0$ kann man die Gleichung auch für die Bewegung in (2.43) herausfinden:

$$U = -\Delta_0 \lambda^2 \quad (2.47)$$

Der Voraussetzung nach, ist das eine zulässige Gleichung. Aus der Gleichung $y_2(t_1 + t_2 + t_3) = -V_1$ kann man den Augenblick $t_1 + t_2 + t_3$ herausfinden, in dem der Kran die Nenngeschwindigkeit erreicht.

Soll jetzt $\Delta_0 > \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$ (Abb. 2.19) – der Punkt O_1 befindet sich im Bereich der zulässigen Koordinaten.

In diesem Fall, um die Grenze $\xi_1 = \lambda \Delta_0$ nicht zu überschreiten, sollen wir von der Kreislinie J_1 auf eine Kreislinie mit dem kleineren Radius übergehen. Dabei haben wir die optimalen Laufbahn $OB''C''D$, wo $D = J_0$ oder $OBCD'$, wann t ist genug groß. Im unterangeführten Beispiel ist $t \approx \frac{4\pi}{\lambda}$, darum wird die optimale Beschleunigung auf der Kreislinie J_2 erscheinen.

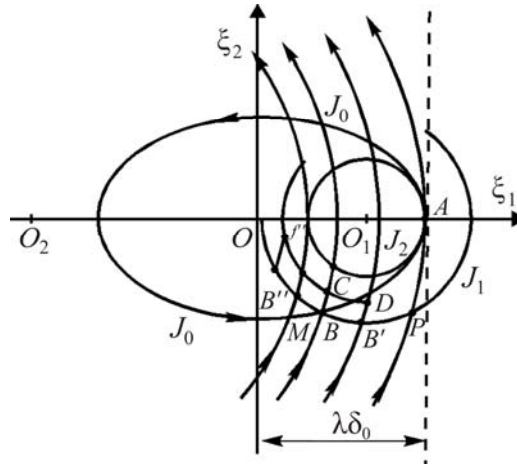


Abb. 2.19. Projektion der Phasentrajektorien des Systems

bei Beschleunigung bei $\Delta_0 > \frac{K-\omega}{m_1 - \lambda^2}$

Aber, weil bei der Beschleunigung auf der Kreislinie mit dem Radius $r = \varepsilon \frac{K-W}{m_1 \lambda}$, wo

$0 \geq \varepsilon \geq 1$, wird die Krangeschwindigkeit monoton größer:

$$\begin{aligned} y_2 &= b_2 + b_3 \lambda \frac{m_1}{m_2} \sin \lambda t + \left(1 - \frac{g}{l \lambda^2}\right) \frac{K+W}{m_1 \lambda} \sin \lambda t + \frac{W-K}{m_1 \lambda} \frac{g}{l} t = \\ &= b_2 + (1-\zeta) \frac{W-K}{m_1+m_2} \frac{m_2}{m_1 \lambda} \sin \lambda t + \frac{W-K}{m_1+m_2} t, \end{aligned} \quad (2.48)$$

wo $b_2 = \text{const}$, so, wie aus der Gleichung (2.47) für $J_2(t)$ folgt, die der zwei Umschaltungen:

$$\begin{aligned} J_2(t) &= \frac{W-K}{m_1+m_2} \left\{ \frac{m_2}{m_1 \lambda} [\sin \lambda(t_1+t_2+t_3) - \sin \lambda(t_2+t_3)] + t_1 \right\} + \\ &+ \frac{W+K}{m_1+m_2} \left\{ \frac{m_2}{m_1 \lambda} [\sin \lambda(t_2+t_3) - \sin \lambda t_3] + t_2 \right\} + \frac{W-K}{m_1+m_2} \left[\frac{m_2}{m_1 \lambda} \sin \lambda t_3 + t_3 \right], \end{aligned} \quad (2.49)$$

entspricht, wird die optimale Geschwindigkeit am schnellsten bei der möglichst kleinen t_2 erreicht. Dabei sind t_1, t_2, t_3 – die Zeiten der Bewegung auf OB, BC, CD .

Dafür wird der Punkt B zwischen Punkte M und P ausgewählt aus der Bedingung: der Winkel BO_2C ist der kleinste aus der Winkeln $B'O_2C'$, wo B' – ein beliebiger Punkt des Bogens MP ist.

Ausgehend von Koordinaten B und C in der Ebene (ξ_1, ξ_2) kann man die Augenblicke der Steuerungsumschaltung in diesen Punkte und die Zeit der Beschleunigungsbeendigung bestimmen. Damit wird das Betrachten der Beschleunigungsstufe für die zwei Fälle beendet.

Betrachten wir jetzt einen gesamten Fall der Kranbewegung mit der Nenngeschwindigkeit. Soll beim Erreichen dieser Geschwindigkeit bei der Beschleunigung $J_1 = J_{01}, J_2 = -V, J_3 = J_{03}, J_4 = J_{04}$. Dann mittels Integrieren des Systems (2.35) bei dieser Anfangsbedingungen werden wir erhalten:

$$J_2(t) = b_2 + b_3 \lambda \frac{m_2}{m_1} \sin \lambda t - b_4 \lambda \frac{m_2}{m_1} \cos \lambda t + \int_0^t \left\{ \frac{1}{l \lambda^2} + \left[1 - \frac{1}{l \lambda^2} \cos \lambda(t-\tau) \right] \right\} U(\tau) d\tau. \quad (2.50)$$

Das Steuerungsgesetz $U(t)$ für die Bewegung mit der konstanten Geschwindigkeit kann man aus der Gleichung $J_2(t) = -V_1$ herausfinden. Als Lösung erhalten wir:

$$U(t) = \frac{m_2}{m_1} \frac{1}{l} \left[(J_{03} - J_{01}) \cos \mu t + (J_{04} - J_{02}) \frac{\sin \mu t}{\mu} \right],$$

wo $\mu = \sqrt{\frac{g}{l}}$. Bei beliebiger Art der Kranbeschleunigung $|U(t)| \leq \frac{K-W}{m_1}$ und, folglich, stellt sich $U(t)$ eine zulässige Steuerung für (2.35) dar.

Anwenden wir diese nach dem Erreichen der Krannengeschwindigkeit, dann

$$\Delta(t) = J_3(t) - J_1(t) = (J_{03} - J_{01}) \cos \mu t + (J_{04} - J_{02}) \frac{\sin \mu t}{\mu}. \quad (2.51)$$

Daraus ist die Projektion der Laufbahn auf die Ebene ξ_1, ξ_2 eine Ellipse mit dem Mittelpunkt im O , die durch $\xi_{01} = (J_{03} + J_{01})\lambda$ und $\xi_{02} = -J_{04} + J_{02}$ läuft.

Also, wenn bei der Beschleunigung wurde die Begrenzung $|B| \leq B_0$ erfüllt, wird sie erfüllt auch bei der Bewegung mit der konstanten Geschwindigkeit.

Betrachten wir jetzt den Fall, wann bei der Beschleunigung mit $U - \frac{W-K}{m_1}$ überschreitet die Größe von Δ die Größe Δ_0 nicht (Abb. 2.20). Wenn wurde die Beschleunigung im Punkt N der Kreislinie J_1 , der nach dem Punkt P folgt, beendet, so kann man solche Überlegungen anwenden. Wenn N zwischen O und M liegt, so ist nach dem Erreichen $J_2 = -V_1$ die Steuerung (2.51) anzuwenden.

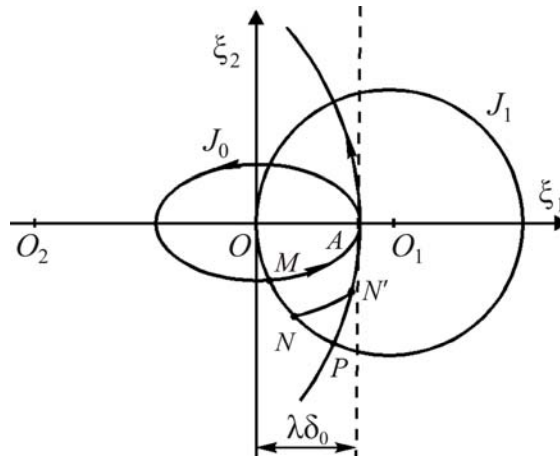


Abb. 2.20. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei Übergang von der Beschleunigung zur gleichmäßigen Bewegung bei $\Delta_0 \leq \frac{K-\omega}{m_2 - \lambda^2}$

Liegt N zwischen M und P , so wird bei $\Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$ (Abb. 2.20) ein Abschnitt der Kranbewegung mit der Nenngeschwindigkeit NN' erscheinen. Danach wird ein Bremsen-

abschnitt $N'A$ erscheinen und endgültige Beschleunigung wird in (2.35) bei $\Delta_0 > \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$

(Abb. 2.21) erscheinen. Die optimale Beschleunigung muß man so suchen, wie bei der Voraussetzung, da bei der Beschleunigung auf J_1 bleiben die Begrenzungen auf Δ unverletzt.

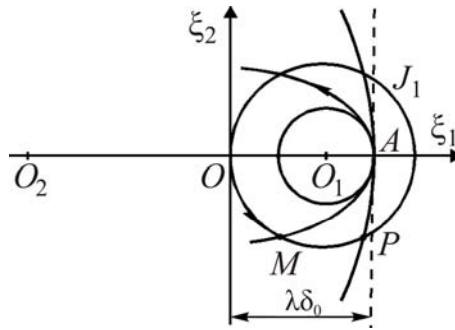


Abb. 2.21. Projektion der Phasentrajektorien
des Systems bei Übergang von der Beschleunigung
zur gleichmäßigen Bewegung bei $\Delta_0 > \frac{K-\omega}{m_2 - \lambda^2}$

Im Ergebnis, wurde dieser Fall auf schon betrachteter zurückgeführt oder die Beschleunigungsstufe wird ein Bewegungsabschnitt mit $J_2 = -V_1$ und mit der Steuerung $U(t)$ (2.51) enthalten. Der Umschaltungszeitpunkt kann man mit Hilfe Abb. 2.20, 2.21 und numerisch auf der EDV-Anlage finden.

Jetzt bilden wir das optimale Kranbremsengesetz mit Berücksichtigung von oben genannten Begrenzungen. Aber vor der Lösung der Aufgabe des Treffens in Koordinatenursprung, betrachten wir die Aufgabe der optimalen Stillsetzung im beliebigen Bewegungszeitpunkt. Das ist äquivalent der Aufgabe des Treffens aus dem beliebigen zulässigen Phasenpunkt auf die Gerade

$$y_1 - y_3 = 0; y_2 - y_4 = 0; y_2 = 0. \quad (2.52)$$

Betrachten wir vor allem den Bremsenvorgang nach der Kranbewegung mit der Nenngeschwindigkeit (2.22).

Dabei

$$\eta(t) = c_1 + c_2 \sin(\lambda t + \alpha),$$

wo c_1, c_2, α – beliebige Konstanten und Zahl der Steuerungsumschaltungen im Bereich der zulässigen Phasenkoordinaten – ≤ 2 (bei dem Vorhandensein der Begrenzungen).

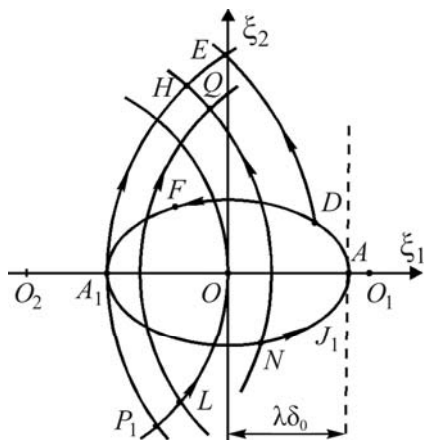


Abb. 2.22. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei

$$\text{Bremsen bei } \Delta_0 \leq \frac{K - \omega}{m_2 - \lambda^2}$$

Bremsens nach der Bewegung mit der Nenngeschwindigkeit, wann J_0 berührt der Grenzen $|\xi_1| = \lambda\Delta_0$. Das Treffen von der Kreislinie J_0 auf dem Bogen P_1O , auf deren erscheint die Beendigungsstufe des Bremsens, erscheint auf der irgendeinen zulässigen Laufbahn Typ NQL oder $NHA_1A_1P_1$, wo A_1A_1 – ein Bewegungsabschnitt in der Vielgestaltigkeit (2.53).

$$y_3 - y_1 = -\Delta_0; y_2 - y_4 = 0; c U = \Delta_0 \lambda^2 \quad (2.53)$$

Offensichtlich zulässig werden die Laufbahne (ausgehende aus J_0 und beendete auf dem Bogen P_1O), die im Band $|\xi_1| \leq \lambda\Delta_0$ und dort $y = -V_1$. Jeder Laufbahn entspricht ein Punkt auf der Kreislinie J_0 . Die Menge solcher Punkte auf J_0 wird unterschiedlich in Abhängigkeit von V_1 sein.

Nehmen wir an, da die Größe von V_1 ist so, da für T_1 die Zeit der Änderung von y_2 von $-V_1$ bis 0 bei $U = \frac{K+W}{m_1}$ gilt:

$$\lambda T_1 \approx \pi.$$

Das entspricht dem untenangeführten Beispiel. Dann ist das Treffen in den beliebigen Punkt des Bogens P_1O zulässig. Die Menge der Punkte J_0 , aus denen kann man unmittelbar $U = \frac{K+W}{m_1}$ nicht anwenden – der Bogen DA , wobei der Punkt D ist solcher, da die Laufbahn DEA führt ein System mit $y_2 = -V_1$ in A_1 .

Für die Punkte des Bogens DA_1 ist auf der Laufbahn DEA_1 , die das System mit $y_2 = -V_1$ in den Punkt A führt, zu bewegen. Nachdem ist auf der Laufbahn J_0 zu bewegen, und die Suche des Punktes des Bremsenanfangs fortzusetzen nach der vorher erörterten Methodik, und zwar auf der Laufbahn Typ NHA_1 in den Punkt A_1 anzukommen, nachdem folgt die Bewegung in der Vielgestaltigkeit (2.53) bis solche Geschwindigkeit V_2 erreicht wurde, da die weitere Bewegung in den Punkt O bei $y_2 = 0$ führt.

Die Größe von V_2 werden wir aus der Gleichung (2.49) für y_2 des Systems (2.35) mit der umgekehrten Zeit [19] finden. Für den Punkt F_1 haben wir

$$\begin{cases} \left(\xi_1 P_1 - \frac{K-W}{m_1 \lambda} \right)^2 + \xi_2^2 P_1 = \left(\lambda \Delta_0 - \frac{K-W}{m_1 \lambda} \right)^2 \\ \left(\xi_1 P_1 - \frac{K-W}{m_1 \lambda} \right)^2 + \xi_2 P_1 = \left(\frac{K-W}{m_1 \lambda} \right)^2 \end{cases}; \quad (2.54)$$

$$\xi_1 P_1 = -\frac{m_2 \lambda (\lambda \Delta_0)^2 + 2 \lambda \Delta_0 (K-W)}{4K}.$$

Davon bestimmen wir die Zeit auf jeder Bewegungsstufe:

$$\begin{aligned} t_9 = t_{OF_1} &= \frac{1}{\lambda} \arccos \frac{\frac{W+K}{m_1 \lambda} + \xi_1 P_1}{\frac{W+K}{m_1 \lambda}}; \\ t_8 = t_{F_1 A_1} &= \frac{1}{\lambda} \arccos \frac{\frac{W+K}{m_1 \lambda} + \xi_1 P_1}{\frac{K-W}{m_1 \lambda} + \lambda \Delta_0}. \end{aligned} \quad (2.55)$$

Machen wir eine Substitution von den Zeiten in die Gleichung (2.49) einsetzen t_{OF_1} und $t_{F_1 A_1}$ bei der Gleichung (2.49)

$$\begin{aligned} V_2 = -y_2(t_9 + t_8) &= \frac{g}{\lambda^2 l} \left(\frac{K+W}{m_1} t_9 + \frac{W-K}{m_1} t_8 \right) + \\ &+ \left(1 - \frac{g}{\lambda^2 l} \right) \left[\frac{K+W}{m_1} (\sin \lambda(t_9 + t_8) - \sin \lambda t_8) + \frac{W-K}{m_1} \sin \lambda t_8 \right]. \end{aligned} \quad (2.56)$$

Weil bei der Bewegung in der Vielgestaltigkeit (2.53) ändert sich die Krangeschwindigkeit linear, ist die Zeit der Bewegung in (2.53)

$$t_7 = \frac{V_1 - V_2}{\Delta} \frac{l}{g},$$

und die Zeit des Erreichens des Punktes A_1 aus dem beliebigen Punkt F des Bogens DA_1 :

$$t_{FA} = \frac{1}{\lambda} \left(\pi - \arccos \frac{\xi_{1F}}{\Delta_0 \lambda} \right).$$

Soll jetzt das Bremsen im Punkt N_1 anfangen, der auf dem Bogen A_1D_1 liegt. Dann kann man zuerst $U = \frac{K+W}{m_1}$ anwenden. Wenn auf dem Abschnitt NH gibt es ein solcher Punkt Q ,

da nach dem Erreichens dieses Punktes mittels Anwendung von $U = \frac{W-K}{m_1}$ treffen wir in

den irgendeinen Punkt L des Bogens P_1O mit $y_2 = y_1$ für das umgekehrten System im derselben Punkt bei der Bewegung aus O , so gilt die Laufbahn $NQLO$ als optimale. Wenn einen solchen Punkt Q gibt es nicht, so treffen wir auf der Laufbahn NHA_1 in den Punkt A_1 . Weitere Bewegung ist schon untersucht. Dabei

$$t_5 = t_{NH} = \frac{2}{\lambda} \arcsin \frac{\sqrt{(\xi_{1H} - \xi_{1N})^2 + (\xi_{2H} - \xi_{2N})^2}}{2R},$$

wo

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\xi_{1H}^2 + \frac{K+W}{m_2 \lambda} + \xi_{2H}^2}; \\ \xi_{1H} &= \frac{R - \lambda \Delta_0 - 2\Delta_0 \frac{K-W}{m_2} - \frac{K+W}{m_2 \lambda}}{4K} m_2 \lambda; \\ \xi_{2H} &= \sqrt{R^2 - \xi_{1H}^2 + \frac{K+W}{m_2 \lambda}}; \\ t_6 = t_{HA_1} &= \frac{1}{\lambda} \arcsin \frac{\xi_{2H}}{\frac{K+W}{m_2 \lambda} + \lambda \Delta_0}. \end{aligned} \tag{2.57}$$

Betrachten wir den Fall, wann J_0 berührt die Grenzen $|\xi_1| = \lambda \Delta_0$ nicht. Wenn $\Delta_0 \leq \frac{K+W}{m_1 \lambda^2}$ (Abb. 2.23), so sind alle Überlegungen ähnlich den vorübergehenden, aber die Menge der Punkte J_0 , nach dem Erreichen deren kann man nicht sofort die Steuerung

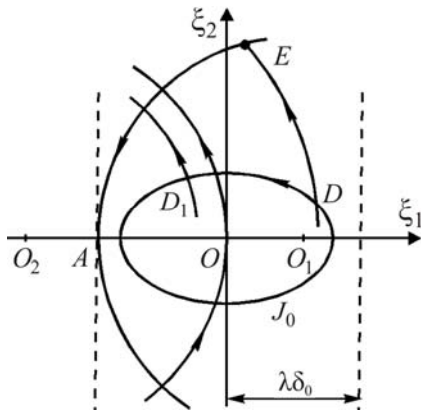


Abb. 2.23. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei

$$\text{Bremsen bei } \Delta_0 \leq \frac{K+W}{m_1 \lambda^2}$$

gibt es ein solcher Punkt Q , da $NQFO$ führt in O mit $y = 0$, so ist das die optimale Laufbahn. Anderenfalls erscheint ein Zwischenbremsenabschnitt auf J_3 und optimal wird irgendeine

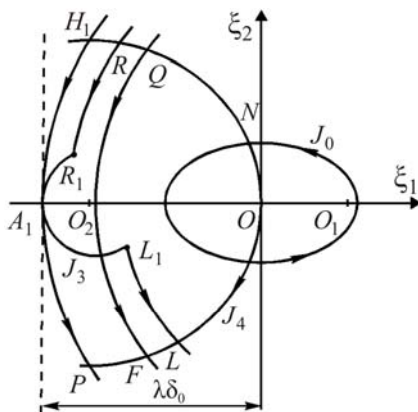


Abb. 2.24. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei

$$\text{Bremsen bei } \Delta_0 > \frac{K+W}{m_1 \lambda^2}$$

$u = \frac{K+W}{m_1}$ anwenden, wird durch den Bogen DD_1 dargestellt (wenn die Halbachsen J_0 klein genug sind, besteht dieser Bogen überhaupt nicht). Und wenn dem Bremsenanfang entsprechende Punkt liegt auf DD_1 , so bei der weiteren Bewegung auf J_0 erreichen wir D_1 , und dann bei $D_1E_1A_1$ treffen wir in A_1 . Das weitere Bewegungsgesetz ist oben geschrieben.

Falls $\Delta_0 > \frac{K+W}{m_1 \lambda^2}$ erscheint statt des gleichen

Bremsen in der Vielgestaltigkeit (2.53) – Abb. 2.23 (der Punkt A_1) ein Bremsenabschnitt auf der Kreislinie J_3 – Abb. 2.24.

Nehmen wir an, da der Bremsenanfang liegt im Punkt N der Ellipse J_0 . Wenn auf dem Bogen NH gibt es ein solcher Punkt Q , da $NQFO$ führt in O mit $y = 0$, so ist das die optimale Laufbahn. Anderenfalls erscheint ein Zwischenbremsenabschnitt auf J_3 und optimal wird irgendeine Laufbahn Typ $NRR_1A_1L_1LO$, deren auf J_3 liegender Abschnitt enthält den Punkt A_1 . Ihre Auswahl ist durch den Vergleich von allen ähnlichen Laufbahnen. Dieses Schema der Suche des Steuerungsgesetzes $u(t)$ für das geschwindigkeitsoptimalen Bremsen ist auch anwendbar, wenn das Bremsen beginnt vor dem Erreichen der Krannengeschwindigkeit.

Wenn im Zeitpunkt des Bremsenanfangs war die Krangeschwindigkeit klein, so ist die Bewegung in die Rückrichtung möglich mit $u_3 = -\frac{K+W}{m_1}$

(2.58) oder mit $u_4 = \frac{K-W}{m_1}$ (2.59). Dabei, wie kann

man aus (2.38) sehen, die Projektion der Systemen

(2.58) und (2.59) auf der Ebene ξ_1, ξ_2 werden die Kreislinien:

$$\begin{aligned} \left(\xi_1 + \frac{W-K}{m_1 \lambda} \right)^2 + \xi_2^2 &= \left(b_3 \lambda^3 \frac{l}{9} - \frac{W+K}{m_1 \lambda} \right)^2 + \left(b_4 \lambda^3 \frac{l}{9} \right)^2; \\ \left(\xi_1 + \frac{K-W}{m_1 \lambda} \right)^2 + \xi_2^2 &= \left(b_3 \lambda^3 \frac{l}{9} + \frac{K-W}{m_1 \lambda} \right)^2 + \left(b_4 \lambda^3 \frac{l}{9} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.60)$$

mit den Mittelpunkte $O_3 \left(\frac{K+W}{m_1 \lambda}, O \right)$ und $O_4 \left(\frac{W-K}{m_1 \lambda}, O \right)$.

Auf der Abb. 2.25 ist eine Bremsenlaufbahn bei der Bewegung in die Rückrichtung dargestellt – der Abschnitt HSN .

Soll das Bremsen im Punkt C beginnen. Weil ist die Geschwindigkeit J_2 am Anfang des Bremsens nicht groß, so

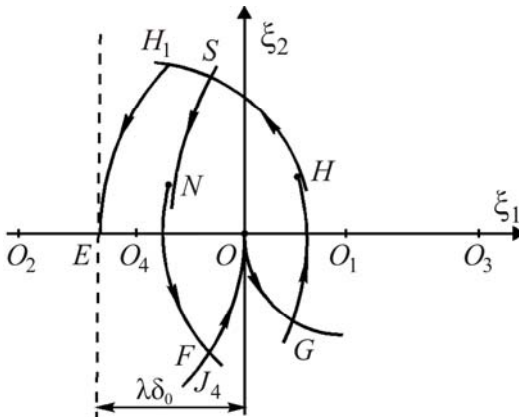


Abb. 2.25. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei rückwärtiger Bewegung des Kranes

durch die Anwendung von $u = \frac{K+W}{m_1}$

werden wir irgendeinen Punkt H erreichen, wo $y_2 = 0$. Nach diesem Punkt wird die

"Bremsensteuerung" $u = \frac{K-W}{m_1}$ und der

Kran beginnt die Bewegung in die Rückrichtung. Die Beendigungsstufe des Bremsens wird, wie früher, über J_4 erscheinen, und das Treffen auf diese Kreislinie mit der entsprechenden Geschwindigkeit von dem irgendeinen Punkt S des Bogens HH_1 aus

wird bei $u = \frac{-K-W \text{sign} y_2}{m_1}$ (in $N_{i2} = 0$) erscheinen. Der Zeitpunkt, der dem Punkt S entspricht,

kann man durch Vergleich von allen ähnlichen Laufbahnen mittels EDV herausfinden. Dabei werden alle Zeitpunkte, die den späteren Umschaltungen entsprechen, automatisch bestimmt. Betrachten wir jetzt den Bremsenvorgang, bei denen die Stillsetzung des Kranes erscheint in der irgendeinen vorgegebenen Stelle. Im unseren Fall ist das der Koordinatenursprung des Phasenraumes. Aus der Gesamtlösung des Systems (1)–(4) ist zu sehen, da J_1 kann man so vorstellen:

$$J_1(t) = f(t) + I(u_1 t),$$

wo $f(t)$ – irgendeine ununterbrochene Funktion ist und

$$I(u, t) = \int \left[\frac{g}{l\lambda^2} (t - \tau) + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{g}{l\lambda^3} \right) \sin \lambda(t - \tau) \right] U(\tau) d(\tau), \quad (2.61)$$

der Integraloperator Volterra mit dem ununterbrochenen Kern. Falls ist das Bremsengesetz $U(t)$ ununterbrochen von dem Bremsenanfangspunkt im Sinne des Raumes $L(0, \infty)$ abhängig, so ist auch $J_1(t)$ ununterbrochen von dem Bremsenanfangspunkt abhängig. Also in diesem Fall gibt es auf der optimalen Laufbahn, die der Bremsenstufe oder der gleichmäßigen Kranbewegung entspricht, ein solcher Punkt z , da der in diesem Punkt begonnenen Bremsenvorgang beendet sich im Koordinatenursprung. Dabei wird die Lösung der gesamten Aufgabe auf die Suche des Punktes z zurückgeführt. Jedoch wenn auf der Laufbahn gibt es ein Abschnitt DA_1 (Abb. 2.22) oder ein Abschnitt DD_1 (Abb. 2.23), so wird die ununterbrochene Abhängigkeit $U(t)$ von dem Anfangspunkt im Punkt D erletzt und, möglicherweise, gibt es keinen Punkt z überhaupt. Dann offensichtlich beginnt die optimale Laufbahn im D (Abb. 2.26) und trifft auf die Grenze $\xi_1 = -\lambda \Delta c J_2 = -V_1$ über DEA . Aber jetzt, zum Unterschied von früher bestimmten Bremsengesetz von D aus, wird ein Abschnitt $A_1BB_1A_1$ hinzufügen, der eine Übertragung des Punktes der Kranstillsetzung in den Koordinatenursprung ermöglicht.

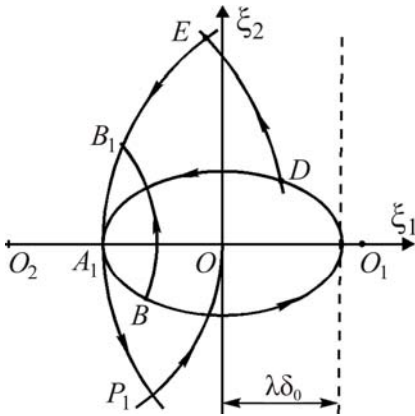


Abb. 2.26. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei Bremsen

Dabei wurden die Punkte B und B_1 auf solche Weise ausgewählt, da der Übertragungsabstand gleich J_1 im Zeitpunkt der Stillsetzung beim gewöhnlichen Bremsen von D aus ist.

So werden wir eine geschwindigkeits-optimale oder nähere dazu Steuerfunktion $U(t)$ für das System (1) bekommen. Sie ist stückweise stetig und stellt sich eine reale zulässige Steuerung in jeder Stätigkeitsbereich, weil der Antrieb kann man errechnen für die Erhaltung [24] der konstanten Kräfte, die für das Erhalten der Nenngeschwindigkeit V_1 und des Bremsens notwendig sind. Sinusförmiges Steuerungsgesetz (für die gleichmäßige Bewegung) kann man auf dem beliebig großen Zeitabschnitt gewähr-

leisten. Nehmen wir jetzt eine reale Steuerung $u_3(t)$ die sich von der oben bestimmten damit unterscheidet, da sie stets der Unstetigkeiten eine glatte, fast lineare "Konjugation" der Stätigkeitsbereiche [14] hat und der bergang $c(x_1 - x_2)$ von 0 zu K oder zu $-K$ erscheint, zum Beispiel, während $t_1 = 0,2$ s. Dann bekommen wir für die Lösungen des Systems (2.39) mit früher bestimmten $U(t)$ und mit $U_3(t)$, die aus der $U(t)$ durch die Zerbrechung des linearen Abschnittes bekommen wurde:

$$|J_3(t_1 U(t)) - J_3(t_1 U_3(t))| \leq \frac{Kg}{m_1 l} \frac{22 t_1^2}{120} = 0,0000691 \text{ m};$$

$$|J_1(t_1 U(t)) - J_1(t_1 U_3(t))| \leq \frac{1}{3} \frac{Kg}{m_1} t_1^2 + \frac{m_2}{m_1} \frac{Kg}{m_1 l} \frac{22 t_1^2}{120} = 0,0042106 \text{ m};$$

$$|J_4(t_1 U(t)) - J_4(t_1 U_3(t))| \leq \frac{Kg}{m_1 l} \frac{t_1^3}{3} = 0,006282 \text{ m/s};$$

$$|J_4(t_1 U(t)) - J_2(t_1 U_3(t))| \leq \frac{m_2}{m_1} \frac{Kg}{m_1 l} \frac{t_1^3}{3} = 0,0004346 \text{ m/s}.$$

Offensichtlich, da mit solchen Größen kann man vernachlässigen. Danach bleibt nur $\gamma(t)$ aus der Gleichung (a) finden, das ergibt eine geschwindigkeitsoptimale Steuerung für den räumlichen Hydroantrieb. Weiter wurde ein Beispiel für ein Brückenkran mit Tragfähigkeit 30/5 t und mit der Spannweite 22,5 m (Produzent – Charkover Betrieb für Förder- und Hebertechnik namens W.I. Lenin). Getrennter regelbarer hydrostatischer Antrieb des Kranverrückungsmechanismus schließt die Pumpen ПД №5, Hydromotoren ИМ №5, Antriebselektromotoren АО-62-4 ein.

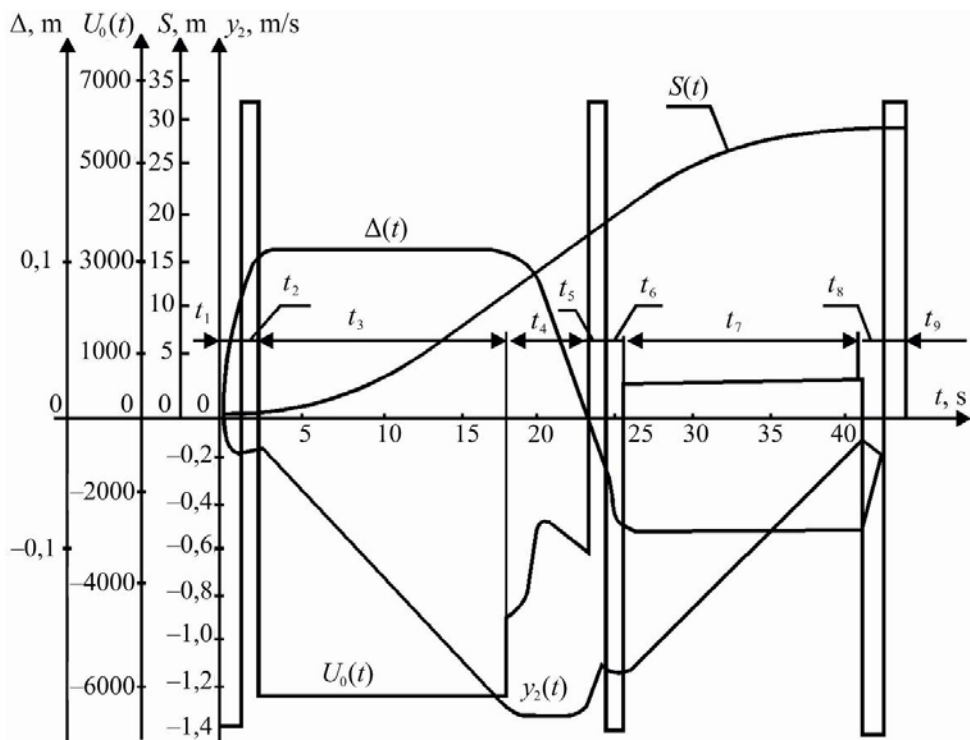


Abb. 2.27. Übergangsvorgängeschaubilder des Torkranes (Krantragfähigkeit 30/5 t)

Dabei sind die Werte der Kranparametern (s. das Schema auf der Abb. 2.27): $m_1 = 22100 \text{ N}$, $m_2 = 15300 \text{ N}$, $l = 13 \text{ m}$, $W = 3300 \text{ N}$. Es wurde der Fall betrachtet, wann die Kraft in der Welle $c(x_1 - x_2)$ mit der Größe $K = 6900 \text{ N}$ begrenzt wurde (dabei beträgt der Druck im hydraulischen System 10 MPa). Es gibt eine Begrenzung der Lastabweichung von der Vertikale $\Delta_0 = 0,1 \text{ m}$. Die Nenngeschwindigkeit der Kranverschiebung beträgt $V_1 = 1,26 \text{ m/s}$. Der Kran soll sich stillsetzen ohne der Lastaufschaukeln nach der Verschiebung auf $x_0 = 30 \text{ m}$. Auf der Abb.2.9.12 sind Zeitabhängigkeiten für die Geschwindigkeit der Kranverschiebung $y_2(t)$, für den Weg S , für die Lastabweichung Δ und die Abhängigkeit der Kräfte in der Welle $U_0 = c(x_1 - x_2)$ von der Zykluszeit bei der geschwindigkeitsoptimalen Steuerung und bei den obengenannten Begrenzungen und Förderungen dargestellt. Die notwendige Berechnungen wurden mit Hilfe von EDV durchgeführt.

2.9.6. Оптимізація руху крана (візка) з масою меншою за масу вантажу. Bewegungsoptimisation des Kranes (der Laufkatze) mit der Masse, die kleiner als die Lastmasse ist

Jede Aufgabe der geschwindigkeitsoptimale Kransteuerung kann man auf solche Weise formalisieren: eine Steuerfunktion $U(t)$ ist auf solche Weise auszuwählen, da die Systemlaufbahn, die durch diese Gleichung bestimmt wurde und ausgehende aus dem irgendeinen Punkt y^0 des Phasenraumes muß in die Zielmenge G für minimalste Zeit treffen. Jedoch die in der Praxis entstehende Aufgaben kann man in solche drei Typen gliedern:

1. Möglichst schnellste Systemverschiebung von dem Punkt y^0 aus in den anderen Punkt y^1 ($G = \{y^1\}$);

2. Optimale Kranbeschleunigung bis zur Nenngeschwindigkeit V (das Treffen aus dem Punkt y^0 auf die Menge $G = \{y \in R^4 : y = V\}$);

3. Die Aufgabe des Bremsens und der Stillsetzung des Kranes (das Treffen aus dem vorgegebenen Punkt y^0 auf die Menge $G = y \in R^4 : y_2 = 0, y_4 = 0, y_3 - y_1 = 0$).

Darüber hinaus werden wir im weiteren nur die Optimisationsaufgaben 1, 2 und 3 sowohl mit der zusätzlichen Phasenbegrenzungen, als auch ohne dieser betrachten. Infolge dessen, da die Gleichungen (2.35) bleiben beim jeden Ersatz $x_1 = \dot{x}_1 + c$; $\dot{x}_2 = x_2 + c$; $\dot{x}_3 = x_3 + c$ unverändert, wo $c = \text{const}$, ist die Vektor-Funktion $f(y, U)$ eine Invariante

bezüglich der Verschiebungen entlang der Gerade $\Pi = \{y \in R^4 : y_3 - y_1 = 0, y_2 - \text{const}, y_4 - \text{const}\}$. Folglich ist jede Ausgangsoptimisationsaufgabe äquivalent der Aufgabe desselben Typ mit dem Ausgangszustand \bar{y}^0 und mit der Zielmenge \bar{G} für denen: $\bar{y}^0 = y^0 + \bar{y}$; $G = \{y + \bar{y} : y \in G\}$, wo \bar{y} – ein beliebiger Vektor $(a, 0, a, 0)^T$ ist. Das ermöglicht die Anordnung des Koordinatenursprunges des Phasenraumes aus der Bequemlichkeitsgründe in den beliebigen Punkt der Gerade $\Pi_0 = \{y \in R^4 : y_3 - y_1 = 0; y_2 = 0; y_4 = 0\}$.

Meist komplizierte ist die gesamte Lösung der Aufgabe 1, d.h. die Lösung der Gesamtheit der Syntheseraufgaben ins gesamten Raum oder in irgendeiner Teil des Raumes. In der Praxis vorkommt nur ein spezieller Fall 1, wenn $y_1^1 = y_3^1, y_2^1 = y_4^1 = 0$ (die Kranstillsetzung in einer vorgegebenen Stell ohne der Lastaufschaukeln).

Dabei besteht die Grundaufgabe in der Regel darin, da muß man das System Kran – Last von einem Ruhezustand $y^0(f(y^0, 0) = 0)$ in anderen $y^1(f(y^1, 0) = 0)$ überführen. Es ist notwendig, solche Fällen, wann (2.35) keinen Ruhezustand darstellt, nicht zu betrachten, weil eine Störung während der Lösungsrealisation der Ausgangsgrundaufgabe. Darum werden wir in Einzelheiten 1 betrachten, wann $y^0(a_0, 0, a_0, 0)^T, y^1 = 0, a_0 - \text{const} > 0$. Zu solcher Aufgabestellung kann man beliebige konkrete Aufgabe der Überführung des Systems von einem Ruhezustand aus in den anderen zurückführen mit der Berücksichtigung der obengenannten Auswahlmöglichkeit des Koordinatenursprunges und Willkürlichkeit der Achsenrichtung $y_1(x_2)$. Es werden nur die notwendige Anmerkungen ber die Lösung 1 im Fall, wenn y_0 kein Ruhezustand des Systems (2.35) darstellt, gemacht.

Übergehen wir jetzt zur unmittelbaren Untersuchung der Optimisationsaufgaben 1, 2, 3.

Betrachten wir die Sung der Aufgabe 1 ohne Phasenbegrenzungben.

Früher für das System (2.35) und für die Menge der zulässigen Steuerungswerte U wurde die Erfüllung der Bedingung der Lagegesamtheit bestimmt. Dann für die beliebige Phasenpunkte y^0, y^1 gibt es die einzige Optimalsteuerung $u(t), 0 \leq t \leq T(y^0, y^1)$, und eine entsprechende Laufbahn $y(t)$, für die $y(0) = y^0$ und $y(T(y^0, y^1)) = y^1$. Dabei ist $T(y^0, y^1)$ – die Zeit der schnellsten Überführung des Punktes y^0 in den Punkt y^1 . Bezeichnen wir die einzigste Lösung der Aufgabe 1 bei $y(a, 0, a, 0)^T, y^1 = 0$ als $\bar{y}_1(t), u(t), 0 \leq t \leq T$. In diesem Fall erzeugt die Steuerung $\bar{u}(t) = u(T - t), 0 \leq t \leq T$ eine Laufbahn $\bar{y}(t)$ des Systems (2.2), und zwar eine solche, die 0 in y^0 überführt und für welche $\bar{y}_1(t) = y_1(T - t), \bar{y}_2(t) = -y_2(T - t), \bar{y}_3(t) = y_3(T - t), \bar{y}_4(t) = -y_4(T - t)$.

Dabei sind die Zeiten der Bewegung auf $y(t)$ und $\bar{y}(t)$ gleich. Offensichtlich, da $\bar{u}(t), \bar{y}(t), 0 \leq t \leq T$ auf der optimalen Weise überführt den Punkt 0 in y^0 . Anderenfalls würde eine Laufbahn $z(t)$ des System (2.35) bestehen, die von der zulässigen Steuerung $u_1(t)$ erzeugt wurde, die 0 in y^0 überführt würde für die Zeit T_0 die kleiner als T wäre. Wenn wir analogisch

mit dem früheren $\bar{z}(t)$ und $\bar{u}_1(t)$ gebaut wurden, werden wir ein Widerspruch bekommen mit der Behauptung, da $y(t)$, $u(t)$ eine Lösung von 1 ist. Andererseits ist die Laufbahn $y^0 - y(t)$, die von der Steuerung $-u(t)$ erzeugt wurde, ebenfalls überführt den Punkt 0 in y^0 für die Zeit T . Das folgt aus der Invariant der rechten Seite des Systems (2.35) bezüglich der Verschiebung die Gerade π_0 entlang und wird unmittelbar geprüft. Infolge der Einzelheit der Optimallösung kann man schreiben:

$$\bar{y}(t) = y^0 - y(t), \quad \bar{u}(t) = -u(t), \quad 0 \leq t \leq T.$$

Sonst kann man sagen, da $y(t)$ und $u(t)$ sollen solchen Bedingungen befriedigen:

$$y_1(t) = a - y_1(T - t), y_2(t) = y_2(T - t), y_3(t) = a - y_3(T - t), y_4(t) = y_4(T - t), u(t) = -u(T - t).$$

Sofort werden wir bemerken, da eine Symmetrie bezüglich der Kranwegmitte folgt. Außerdem suchen diese Bedingungen aus der Klasse der zulässigen Steuerungen D ihre ziemlich enge Untermenge $D_1(u(t) = -u(T - t))$, die eine optimale Steuerungsfunktion enthält. Um sie zu finden, betrachten wir ausführlicher die Funktionen aus D_1 und die entsprechende Laufbahn.

Dem Maximumprinzip nach entspricht der Funktion $U(t)$ eine Funktion $\eta(t)$ und weil $U(t) = -u(T - t)$, so erfüllt für $\eta_2(t)$ eine solche Bedingung

$$\eta_2(t) = -\eta_2(T - t), \quad 0 \leq t \leq T.$$

Wir erhalten:

$$\begin{aligned} c_1 + c_2 t + c_3 \sin \lambda(t + \alpha) &= -c_1 - c_2(T - t) - c_3 \sin \lambda(T - t + \alpha) = \\ &= 2c_1 + c_2 T + 2c_3 \sin \lambda(T/2 + \alpha) \cos \lambda(T/2 - t) = 0. \end{aligned}$$

Woher:

$$2c_1 + c_2 T = 0; \quad (T/2 + \alpha) = \pi k / \lambda k = 0, 1, 2,$$

und folglich

$$\eta(t) = c_2(t - T/2) + c_3 \sin \lambda(t - T/2). \quad (2.62)$$

Außerdem, soll die Umschaltunzszahl N (die Zahl der Nullwerte der Funktion $\eta(t)$, wo sie ihre Zeichen ändert) ungerade sein.

Wirklich bei $t = \frac{T}{2} \eta_2\left(\frac{T}{2}\right) = 0$ und infolge der Eigenschaften der $\eta(t)$ wird $\eta_2(t)$ nicht

gleich Null werden innerhalb eine Kreislinie des Punktes $t = T/2$ (au er dieser Punkt selbst). In diesem Fall gewährleistet die Bedingung $\eta_2(t) = -\eta_2(T-t)$ das Vorhandensein der Steuerungsumschaltung bei $t = T/2$. Wenn $t' < T/2$ ($t' > T/2$) ist ein Umschaltungspunkt, so gibt es gemäß (2.45) eine Umschaltung auch im Punkt $T-t' > T/2$ ($T-t' < T/2$). Also ist die Umschaltungszahl bei $t \neq T/2$ gerade. Noch eine bei $t = T/2$ hinzufügend erhalten wir $N = 2n + 1$, wo $n = 0, 1, \dots$

Um eine optimale Steuerung $U(t)$ und eine Laufbahn $y(t)$ zu bauen, machen wir folgendes: nehmen wir an, da die Bewegung beginnt von $U = -K/m_1$ (in der Richtung des Koordinatenursprunges), zeigen wir wie bei $N \ll 3$ kann man mit Hilfe der Steuerung aus der Klasse D_1 den Punkt y^0 in den Punkt 0 überführen., dann, aufgrund der Gesamtergebnisse, beweisen wir, da die hinweisende Bewegung ist die beste im Sinne der Schnelligkeit, und weil die Lösung ist einzigartig, ist die Ausgangsvoraussetzung $U = -k/m$ automatisch richtig.

Merken wir vor allem, da

$$y_3(t) - y_1(t) = -(y_3(T-t) - y_1(T-t)), 0 \leq t \leq T,$$

d.h. $y(t)$ ist nur zwischen die Laufbahne, die y^0 und 0 verbinden zu suchen, deren Projektion auf der Ebene Γ der Variablen ξ_1 und ξ_2 symmetrisch hinsichtlich der Achse ξ_2 sind. Alle Laufbahne im weiteren werden auf die Ebene Γ projizieren.

Dabei die Projektion der verschiedenen Punkte des Phasenraumes können übereinstimmen (das gilt z.B. für den Koordinatenursprung und den Punkt y^0). Darum wenn bezeichnen wir die Projektion des Punktes y als P , denn werden wir als P', P'', \dots die Punkte der Phasenebene Γ , die die Projektion der anderen Phasenpunkte y', y'', \dots bezeichnen.

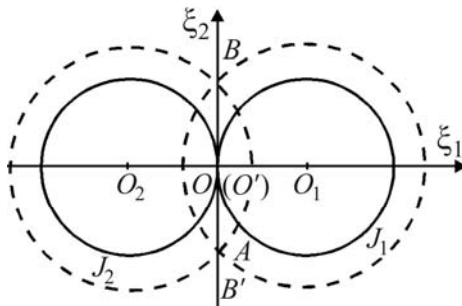


Abb. 2.28. Projektion der Phasentrajektorien des Systems ohne Phasenbegrenzungen

Weil die Gesamtzahl der Umschaltungen N ungerade ist, so entspricht der Umschaltungszeitpunkt mit der Nummer $(N+1)/2$ dem Punkt, der auf der Gerade $\xi_1 = 0$ liegt (hier und im weiteren wird als Basisraum die Ebene Γ betrachtet). Wäre $N = 3$ und die Bewegung beginnt bei $U = -k/m_1$. Also sind als optimalverdchte die Laufbahne Typ $O'ABCO$ ($O'A_1BCO$) (Abb. 2.28) zu betrachten. Solche Laufbahne bestehen aus vier Abschnitte: $O'A$ – die

Bewegung mit $U = -k/m_1$ auf der Kreislinie J_1 (es ist ein mehrmalen Umgang möglich) aus dem Punkt O' (die Projektion von y^0); $AB(AB_1)$ – die Bewegung mit $U = k/m_1$ bis dem Punkt $B(B_1)$, der auf der Achse ξ_2 liegt; $BC(B_1C)$ – der Bewegungsabschnitt mit $U = -k/m_1$, der

$AB(AB_I)$ symmetrisch bezüglich $\xi_1 = 0$ ist; CO – die Bewegung auf der Kreislinie J_2 mit $U = k/m_1$ bis Punkt O , der eine Projektion des Koordinatenursprungs des Ausgangsphasenraumes darstellt. Im weiteren für den beliebigen Punkt P auf der Ebene Γ werden wir seine Koordinaten als $\xi_{1\Gamma}, \xi_{2\Gamma}$ bezeichnen. In diesem Fall gilt es folgende:

Behauptung 1.1: die Bewegung Typ $O'AB_1CO$ ($\xi_{2B1} < 0$) kann nicht optimal sein.

Beweisung: Nach dem Maximumprinzip muß man $U(t)$ nur zwischen die Extremalsteuerungen suchen, d.h. zwischen solchen Steuerungen $U'(t)$, für deren eine solche L Sung $\eta'(t)$ des Systems besteht, da

$$H(\eta'(t), y'(t), U'(t)) = \max H(\eta'(t), y'(t), U)$$

wo $y'(t)$ – eine von $U(t)$ erzeugte Laufbahn. Darum ist genug zu zeigen, da die Steuerung, die der Bewegung $O'AB_1CO$ entspricht, könnte nicht extremal sein. Die Gesamtform der Funktion $\eta_2(t)$, die der meist wahrscheinliche Lösung der Aufgabe 1 mit drei Umschaltungen entspricht, ist auf der Abb.2.29 dargestellt. Aus der Bequemlichkeitsgründe werden wir die Kurven von sinusartigen und linearen Summanden (2.43)–(2.44) der Funktion $\eta_2(t)$ separat dargestellt (die Kreuzungen dieser Kurven entsprechen den Nullwerte der $\eta_2(t)$). Soll Θ – die Zeit der Bewegung auf dem zweiten Abschnitt (2.53). Offensichtlich $\Theta < 2\pi/\lambda$. Außerdem, wie ist auf der Abb. 2.29, a zu sehen, Θ soll kleiner, als π/λ sein. Darum kann die Funktion $\eta_2(t)$, die auf der Abb. 2.29, a dargestellt ist, nicht der Bewegung $O'AB_1CO$ entsprechen. Wenn ist das zweite Intervall mit dem konstanten Vorzeichen $h_2(t)$ ist größer, als π/λ (Abb. 2.30, a), so erstens ist es nicht größer als, und zweitens, kann die Größe des ersten Intervalls mit dem negativen Vorzeichen $\eta_2(t)$ nicht größer als π/λ sein. Die zweite Bedingung wird nur solche Bewegungen aussuchen, für die $\xi_{2A} < 0$. Aber für solche Punkte A der Kreislinie J_1 dauert die Übergang auf die negative Halbachse ξ_2 mit $U = K/m_1$ dauert länger als $3\pi/2\lambda$.

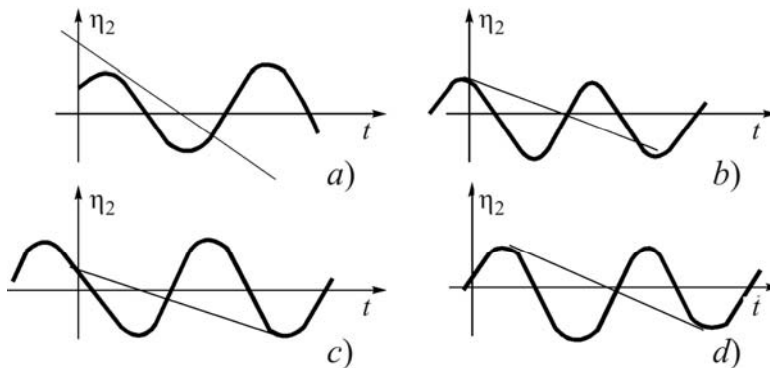


Abb. 2.29. η_2 – Funktion bei eine Umschaltung

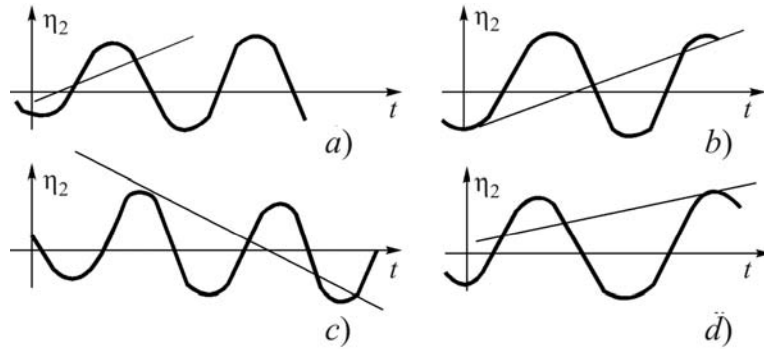


Abb. 2.30. η_2 – Funktion bei zwei Umschaltungen

Folglich, ist keine Bewegung Typ $O'AB_1CO$ extremal, und ist sie nicht optimal.

Die Behauptung 1.1 ermöglicht nur das Betrachten der Bewegungen $O'AB_1CO$ ($\xi_2 \geq 0$). Wir werden zeigen, da eine solche Laufbahn, die y^0 in den Koordinatenursprung des Phasenraumes überführt, besteht wirklich. Dafür betrachten wir die Gesamtheit der allen Bewegungen $O'ABCO''$ mit drei Umschaltungen, die im Punkt y^0 beginnen, deren Projektion in der Ebene Γ symmetrisch bezüglich die Gerade $\xi_1 = 0$ sind. Der Punkt O'' entspricht dabei irgendwelchem Ruhezustand

$$y^0 = (y_{01}; 0; 0; 0).$$

Für die Kürze bezeichnen wir alle Laufbahnen aus dieser Gesamtheit als die Bewegungen (die Laufbahnen) vom Typ b . Ist leicht zu erkennen, da jedem Punkt der Kreislinie J_1 kann man gegenseitig eindeutig eine Bewegung b übereinstimmen (die Punkte, deren Prototype im Phasenraum verschieden sind, gelten als verschiedene). Dabei, infolge ihrer Symmetrie und des Vorhandenseins der Umschaltung im Punkt der Achse ξ_2 , wird die Steuerung $U'(t)$, die die obengenannte Bewegung verursacht, bezieht sich auf die Klasse D_1 . Außerdem gilt es:

Behauptung 1.2: Soll die Steuerung $U'(t)$ eine Bewegung Typ b erzeugen, so ist solche Steuerung optimal.

Beweisung:

Die gesamte Gestalt der Funktion $\eta'_2(t)$, die könnte der Steuerung $U'(t)$, entsprechen ist auf der Abb. 2.29, c dargestellt. Offensichtlich, da die gekoppelte Funktion kann man jederzeit so auswählen, da zuerst erhaltene sie das negative Vorzeichen während der beliebigen langen Zeit und dann, nachdem des Vorzeichenwechsels, könnte sie das positive Vorzeichen während der beliebigen Zeit τ erhalten: $0 \leq \tau \leq \tau_0$, wobei τ_0 – irgendwelche fixierte Zeit, die größer als $\frac{\pi}{2\lambda}$ ist. Es bleibt noch zu zeigen, da die Zeit der Bewegung auf dem zweiten

Abschnitt ($U = k/m_1$) für die beliebige Bewegung von Typ b überschreitet $\frac{\pi}{2\lambda}$ nicht. Daraus folgt die Extremalitätseigenschaft von $U'(t)$.

Die Koordinaten der Punkte der Kreislinie J_1 sind solche:

$$\xi_1(S) = \frac{K}{m_1\lambda}(1 - \cos \lambda S), \quad \xi_2(S) = -\frac{K}{m_1\lambda} \sin \lambda S, \quad 0 \leq S < \infty.$$

Da auf dem zweiten Abschnitt übereinstimmen die Zeiten der Bewegung bei den Laufbahne von Typ b , denen entsprechen die Punkte

$$\xi_1(S), \xi_2(S) \text{ und } (\xi_1(S + 2\pi/\lambda), \xi_2(S + 2\pi/\lambda)),$$

so ist das Betrachten des Falls ausreichend, wann S ändert sich auf dem Abschnitt von Null bis $2\pi/\lambda$ (der Punkt $\xi_1(S), \xi_2(S)$ lief einmal über die ganze Kreislinie J_1 durch). Aufgrund von 2.29, d erhalten wir, da $\varphi(S)$ – die Bewegungszeit auf dem zweiten Abschnitt aus dem Punkt $\xi_1(S), \xi_2(S)$ ist gleich:

$$\begin{aligned} \varphi(S) = & \frac{1}{\lambda} \left[\arcsin \left(-\frac{\xi_2(S)}{\sqrt{\xi_2^2(S) + \left(\xi_1(S) + \frac{K}{m_1\lambda} \right)^2}} \right) + \arccos \left(-\frac{\frac{K}{m_1\lambda}}{\sqrt{\xi_2^2(S) + \left(\xi_1(S) + \frac{K}{m_1\lambda} \right)^2}} \right) \right] - \\ & - \frac{1}{\lambda} \left[\arcsin \left(\frac{\sin \lambda S}{\sqrt{5 - 4 \cos \lambda S}} \right) + \arccos \left(\frac{1}{\sqrt{5 - 4 \cos \lambda S}} \right) \right]; \quad (2.63) \\ \varphi'_S = & \frac{2 \cos \lambda S - 1 + \sqrt{2} \cos \lambda \frac{S}{2}}{5 - 4 \cos \lambda S}. \end{aligned}$$

Daraus finden wir, da bei $\varphi'(S) = 0$ erreicht $\varphi(S)$ seinen Maximum bei $S = \frac{\pi}{2\lambda}$ und

$$\varphi\left(\frac{\pi}{2\lambda}\right) = \frac{\pi}{2\lambda}.$$

Zeigen wir jetzt, da unter die Bewegungen von Typ b gibt es eine, die überführt den Punkt y^0 in 0. Wenn gibt es ein Punkt $(\xi_1(S), \xi_2(S))$ auf der Kreislinie J_1 der einer Bewegung b entspricht, so überführt diese Bewegung y^0 in

$$y^0(S) = (a(S), 0, a(S), 0)^T,$$

wo

$$a(S) = -\frac{K}{m_1 + m_2} \left[(S - \varphi(S))^2 - 2\varphi^2(S) \right] + \frac{K}{m_1 + m_2} \frac{m_2}{m_1 \lambda} \left[2 + 2\cos\lambda(S + \varphi(S)) - 4\cos\lambda\varphi(S) \right] + a.$$

Die Funktion $a(S)$ ist ununterbrochen und wächst unbegrenzt auf bei der Vergrößerung von S . Folglich, kann man für die beliebige Zahl $a \leq \Delta_0 \lambda^2$ eine solche S^0 finden, da $a(S_0) = a$. Daraus folgt, da gibt es eine extremale Steuerung $U'(t)$ mit den drei Umschaltungen, die die Bewegung von Typ b erzeugt, die y^0 in 0 überführt. Die Mehrheit U enthält Null als ein internen Punkt, darum nach der Folge 3 [13], [14]. $U'(t) = U(t)$ stellt sich eine optimale Steuerung dar.

Außerdem, weil gibt es eine einzigste Lösung der Aufgabe 1 und jede b -Bewegung wird durch eine extremale Steuerung erzeugt, gibt es keine anderen b -Bewegungen, die y^0 in Null überführen.

Also

$$U(t) = \begin{cases} -\frac{K}{m} & \text{bei } \in [0, S_1(U(S_1 + \varphi(S_1), S_1 + 2\varphi(S_1)))] \\ \frac{K}{m} & \text{bei } \in [S_1, S_1 + \varphi(S_1)(U(S_1 + 2\varphi(S_1) + 2\varphi(S_1))] \end{cases}, \quad (2.64)$$

wobei S_1 – die einzigste Lösung der Steuerung $a(S) = 0$ ist.

Betrachten wir jetzt die Aufgabe 1 in der stellt y^0 keine Ruhezustand des System (2.35) dar. In diesem Fall ist die Umschaltungszahl $N(y^0)$ der Optimalsteuerung $U(t)$ stark von dem Punkt y^0 abhängig und jede gesamte Aussage bezüglich $N(y)$ gelang es nicht zu machen. Jedoch weil sind die Bedingungen der Theoremen [11, 12, 13, 14] erfüllt, infolge des Maximumprinzips ist $U(t)$ nur unter die Extremalsteuerungen zu suchen. Jeder Steuerung entspricht eine Funktion:

$$\eta_2(t) = c_1 + c_2 t + c_3 \sin(\lambda t + \alpha) = c_1 + c_2 t + c'_3 \sin \lambda t + c_4 \cos \lambda t, \quad (2.65)$$

wo $C_1, C_2, C_3, C_4, \alpha$ – irgendwelche Konstante. Die gekoppelte Lösung wird mit der Genauigkeit bis die multiplikative Konstante bestimmt, darum abhingt $\eta_2(t)$ tatsächlich nur von drei Parametern (eine der Nullkonstante kann man gleich 1 nach dem Modul annehmen). Um $\eta_2(t)$ (und folglich $u(t)$) eindeutig zu bestimmen, muß man drei unabhängige Bedingungen oder vielleicht eine Auswahl von drei Steuerungsumschaltungspunkte – den Nullpunkte für $\eta_2(t)$ – eingeben. Weiter werden wir ausführlicher die Funktion (2.37) beschreiben. Aufgrund dieser Beschreibung kann man die eventuelle Methoden der Optimalsteuerungssuche bestimmen. Es ist zu mahnen, da anstatt (2.65) auf der Abbildung

werden getrennt das sinusoidale Teil von $\eta_2(t)$ und das lineare Teil mit dem inversen Vorzeichen dargestellt, Dem positiven Vorzeichen $\eta_2(t)$ entsprechen solche Abschnitte, wo liegt das sinusoidale Teil über dem linearen Teil und umgekehrt. Die Kreuzungspunkte stellen die Nullpunkte der Funktion $\eta_2(t)$ dar. Dabei sind nur solche Nullpunkte von Interesse, wo ändert $\eta_2(t)$ sein Vorzeichen. Darüber hinaus werden wir weiter nur solche Zeitpunkte als Umschaltungspunkte bezeichnen.

Soll t_1 – der erste Zeitpunkt der Vorzeichenänderung der Funktion $\eta_2(t)$. Das System (2.35) ist autonom, darum werden wir der Ausgangspunkt der Bewegung t_0 immer gleich Null anzunehmen. Offensichtlich, da t_1 kann man absolut beliebig auswählen. Weiter sind zwei Variante möglich: es gibt ein Zeitpunkt t_2 der Änderung des Vorzeichen von $\eta_2(t)$ oder es gibt keinen. Im zweiten Fall ist die Dauer der zwei Abschnitte mit konstantem Vorzeichen der gekoppelten Funktion willkürlich (Abb. 2.30, *a*). Im ersten Fall, wenn $t_1 < \sigma$ ist der Unterschied $t_2 - t_1$ durch einen Wert $\sigma_1(t)$ begrenzt, und bei $t_1 \geq \sigma$ entsteht eine Ungleichung $t_2 - t_1 \leq \sigma$. Hier ist σ ein Minimalwert von t_1 für deren ist der Wert $t_2 - t_1$, der nicht größer als t_1 ist, zulässig. Diesem Fall entspricht die Funktion, die auf der Abb. 2.30, *b* dargestellt ist: das lineare Teil berührt das sinusoidale Teil im Punkt $t_0 = 0$ und $t_1 = \sigma$ ist ihr gesamter Nullpunkt. Die zweite Umschaltung im unseren Sinne gibt es bei dieser Funktion nicht, aber sie stellt sich ein Grenzwert der Funktion, die einen zweiten Punkt der Vorzeichenänderung hat, dar. Die Bedingungen, die auf die gekoppelte Grenzfunktion aufgelegt sind, lassen herausfinden:

$$\begin{cases} C_2 + C'_4 = 0; \\ -C_2 = \lambda C'_3; \\ C_1 + C_2 \sigma = 0; \\ C_3 \sin \lambda \sigma + C'_4 \cos \lambda \sigma = 0. \end{cases} \quad (2.66)$$

Hier ist offensichtlich $C_1 \neq 0$ und, bei $C_1 = 1$, erhalten wir:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda \sigma &= \lambda \sigma; \\ \sigma &= 1 / \lambda. \end{aligned}$$

Bei $t_1 < \sigma$ kann die Dauer der zweiten Stufe mit dem konstanten Vorzeichen größer als σ sein. Ihre Grenzwert ist mittels der Funktion realisiert, die im Null gleich Null ist und bei $t_2 = t_1 + \sigma_1(t_1)$ anrührt ihr linearer Teil mit dem inversen Vorzeichen das sinusoidale Teil (Abb.2.30, *c*). Um t_2 und $\sigma_1(t_1)$ zu bestimmen, sind solche Verhältnisse vorhanden (bei der Lösung muß man berücksichtigen, da

$$t_2 \in \left(\frac{2\pi}{\lambda}, \frac{3\pi}{\lambda} \right); \sigma_1(t_1) \in \left(\sigma, \frac{2\pi}{\lambda} \right);$$

$$\begin{cases} C_1 + C_4 = 0; \\ C_1 + C_2 t_1 + C_3' \sin \lambda t_1 + C_4' \cos \lambda t_1 = 0; \\ C_1 + C_2 t_2 + C_3' \sin \lambda t_2 + C_4' \cos \lambda t_2 = 0; \\ -C_2 = \lambda C_3' \cos \lambda t_2 - \lambda C_4' \sin \lambda t_2. \end{cases} \quad (2.67)$$

In diesem Fall kann man auch $C_1 = 1$ vorgegeben. Die aufgrund (2.66) gefundene Funktion $\sigma_1(t_1)$ nehmen wir als vorgegebene an für alle $t_1 > 0$. Dabei nehmen wir an, da $\sigma_1(t_1) = \sigma$ bei $t \geq \sigma$.

Sind t_1 und t_2 schon ausgewählt, so kann der dritte Abschnitt mit dem konstanten Vorzeichen der gekoppelten Funktion entweder willkürlich sein, oder mit dem Wert $\sigma_2(t_1, t_2)$ begrenzt sein.

Bei $t_1 \geq \frac{2\pi}{\lambda}$ ist offensichtlich die Funktion $\sigma_2(t_1, t_2)$ vorhanden, sie ist unabhängig von t_1 und gleich $t_3 - t_2$, wobei t_3 ist ein Nullpunkt der Grenzfunktion $\eta_2(t)$ die nach t_3 geht (Abb. 2.29, d). In diesem Fall ist $\eta_2(t)$ an den Punkte t_1, t_2 gekennzeichnet durch die Tatsache, da ihr linearer Teil mit dem invertierten Vorzeichen anrührt das sinusoidale Teil im Punkt $t < t_1$. Daraus folgen die Bedingungen zur Bestimmung von \bar{t} und drei Parametern aus C_1, C_2, C_3 und C_4 (einen Parameter nehmen wir als vorgegebenen an):

$$\begin{cases} C_1 + C_2 \bar{t} + C_3' \sin \lambda \bar{t} + C_4' \cos \lambda \bar{t} = 0; \\ -C_2 = \lambda C_3' \cos \lambda t - \lambda C_4' \sin \lambda t; \\ C_1 + C_2 t_1 + C_3' \sin \lambda t_1 + C_4' \cos \lambda t_1 = 0; \\ C_1 + C_2 t_2 + C_3' \sin \lambda t_2 + C_4' \cos \lambda t_2 = 0. \end{cases} \quad (2.68)$$

Bei der Lösung von (2.68) ist zu berücksichtigen, da $t \in \left(t_1 - \frac{2\pi}{\lambda}, t_1 - \sigma \right)$. Danach aus der Gleichung $C_1 + C_2 t_3 + C_3' \sin \lambda t_3 + C_4' \cos \lambda t_3 = 0$ kann man herausfinden t_3 und $\sigma_2(t_1, t_2) = t_3 - t_2$.

Wenn $t_1 < 2\pi/\lambda$, so muß man eine grenzmöglichste bei den vorgegebenen t_1 und t_2 Funktion (2.65) finden, d.h. eine Funktion, die gleich Null im Punkt $t_0 = 0$ ist (Abb. 2.30, d). Das Bedingungssystem, das die Koeffizienten einer solchen Funktion bestimmt (hier kann man ohne Gesamtheitsbegrenzung C_3' und C_4' als vorgegebene annehmen):

$$\begin{cases} C_1 + C_4' = 0; \\ C_1 + C_2 t_1 + C_3' \sin \lambda t_1 + C_4' \cos \lambda t_1 = 0; \\ C_1 + C_2 t_2 + C_3' \sin \lambda t_2 + C_4' \cos \lambda t_2 = 0. \end{cases} \quad (2.69)$$

Wenn gibt es t_3 – der Punkt der Vorzeichenänderung, die durch die Bedingungen (2.69) bestimmt wird, und der nach dem t_2 folgt, so ist im Gegenfall die Dauer der dritten Stufe willkürlich und $\sigma_2(t_1, t_2) = \infty$. Außerdem werden wir noch eine Funktion $\sigma_3(t_1, t_2)$ bestimmen, die für jedes Paar der Umschaltungen t_1, t_2 ein maximal zulässigen Intervall mit dem konstanten Vorzeichen erzeugt, nach dem gibt es noch ein Nullpunkt der gekoppelten Funktion (2.31). Ist $\sigma_2(t_1, t_2)$ endlich, so ist $\sigma_3(t_1, t_2) = \sigma_2(t_1, t_2)$ und bei $\sigma_2(t_1, t_2) = \infty$ ist $\sigma_3(t_1, t_2) = t_3 - t_2$, wobei t_3 – ist der dritte Nullpunkt der Grenzfunktion $\eta_2(t)$ mit den zwei Punkte der Vorzeichenänderung t_1 und t_2 (Abb. 2.29, b). Der Zeitpunkt t_3 ist aufgrund des Systems zu bestimmen:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 t_1 + C_3' \sin \lambda t_1 + C_4' \cos \lambda t_1 = 0; \\ C_1 + C_2 t_2 + C_3' \sin \lambda t_2 + C_4' \cos \lambda t_2 = 0; \\ C_1 + C_2 t_3 + C_3' \sin \lambda t_3 + C_4' \cos \lambda t_3 = 0; \\ -C_2 = \lambda C_3' \cos \lambda t_3 - \lambda C_4' \sin \lambda t_3. \end{cases} \quad (2.70)$$

Im (2.70) ist C_3' oder C_4' vorgegeben und $t + \sigma < t_3 < t_2 + 2\pi/\lambda$. Jetzt kann man die Suche der Lösung der Aufgabe 1 auf solcher Weise durchführen. Wenn mittels eine konstante Steuerung, die gleich K/m_1 oder $-K/m_1$ ist, kann man y^0 in Koordinatenursprung des Phasenraumes Überführen, so ist das eine Optimalsteuerung. Im Gegenfall betrachten wir alle Extremalsteuerungen $U_1(t)$ mit einer Umschaltung im Punkt $t_1 \in (0, \infty)$. Wenn kann man solche t und T ($0 < t < T$) finden, da bei dem Einsetzen von $U_1(t)$ in (2.35)

$$y_i(t) = 0, i = 1, 2, 3, 4, \quad (2.71),$$

so ist $U_1(t)$ eine Optimalsteuerung. Nehmen wir an, da gibt es keine solche t und T , dann machen wir alles ähnlich bei der Annahme, da die Zahl der Umschaltungen ist gleich 2. Jedoch im diesen Fall, um die Verhältnisse (2.37) zu prüfen, kann man ändern t_1, t_2 und

$$T(0 < t_1 < \infty, t_1 < t_2 < t_1 + \sigma_1(t_1), t_2 < T < t_2 + \sigma_2(t_1, t_2)).$$

Wenn unter den Extremalsteuerungen mit den zwei Umschaltungen wurde kein einzige Optimalsteuerung gefunden, so, folglich, enthält sie mindestens vier Intervalle. Um sie zu bestimmen, muß man drei Zeitpunkte der Umschaltungen finden

$$t_1, t_2, t_3 (0 < t_1 < \infty, t_1 < t_2 < t_1 + \sigma_1(t_1), \\ t_2 < t_3 < t_2 + \sigma_3(t_1, t_2)) \text{ und } T \in (t_3, \infty),$$

bei denen sind die Verhältnisse (2.70) erfüllt. Es ist zu bemerken, da bei den eingegebenen t_1, t_2, t_3 und der Vergrößerung von T können neue Umschaltungen entstehen, aber die kann man eindeutig im voraus nach den t_1, t_2, t_3 bestimmen. Mit andern Worten werden die Lösungen der Aufgabe 1 auf die konsequente Prüfung der Bedingungen (2.71) zurückgeführt durch eine zulässige Änderung der Umschaltungszahl $N=0, 1, 2, 3$ und der gesamten Bewegungszeit T . Aber die praktische Realisierung der Optimalsynthese ist ziemlich schwierig und nur dann zweckmäßig, wann arbeitet das Lastenaufzugssystem dauernd bei den konstanten m_2 und l . Darum benutzt man oftmals anstatt der Optimallösung der Aufgabe 1 $(f(y^0, 0) \neq 0)$ sogenannte quasioptimale Betriebe: die Kombination der Stücken von Optimalaufbahn, die Eingabe der Umschaltungszahl a priori, unvollständige Ausnutzung der Steuerungsmöglichkeiten. Solche Steuerungsverfahren sind ausreichend gut erlernt [4, 28, 31] und wir werden sie nicht betrachten.

Betrachten wir die Lösung der Aufgabe 1 mit den Phasenbegrenzungen.

In diesen Abschnitt werden wir die Aufgabe 1 bei den eingegebenen Begrenzungen auf die Krangeschwindigkeit und auf die Größe des Lastabweichungswinkels von der Vertikale, oder, was bei fixierten l derselbe ist, auf den Unterschied in der Lage des Kranes und des Lastes. Jede diese Begrenzung und sie beide zusammen zeichnen die Mehrheiten der zulässigen Werte der Phasenvariable aus:

$$Q_1 = \{y \in R^4 : (y_3 - y_1 \leq \Delta_0)\}; Q_2 = \{y \in R^4 : (y_2 \leq V_1)\}; Q_3 = Q_1 \cap Q_2.$$

Jedoch bevor zum direkten Lernen der aufgestellten Aufgabe bei jeder Q_i ($i=1, 2, 3$) schreiten, machen wir eine Reihe von gesamten Bemerkungen. Soll $y^0 = (a_0, 0, a_0, 0)^T$.

Behauptung 2.1. Soll Q – eine geschlossene Mehrheit im Phasenraum, die durch die Begrenzungen auf der Bewegung des Systems erzeugt wurde, mit solchen Eigenschaften:

A. Wenn $y = (y_1, y_2, y_3, y_4)^T$ gehört zur Q , denn $y' = (a_0 - y_1, y_2, a_0 - y_3, y_4)$ gehört auch zur Q ;

B. Q – eine bauchige Mehrheit.

Dann gibt es unter die optimale Lösungen 1 eine symmetrische, d.h. eine, die den Begrenzungen (2.65) befriedigt.

Beweisung: Wählen wir willkürlich $V(t), Z(t), 0 \leq t \leq T$ – irgendwelche Lösung 1, die aus der Mehrheit Q nicht ausgeht, aus. Dann erzeugt die Steuerung $\bar{V} = -V(T-t)$ die Systemlaufbahn

$$\bar{Z}(t) = (a_0 - Z_1(T-t), Z_2(T-t), a_0 - Z_3(T-t), Z_4(T-t)),$$

die, infolge die Eigenschaft A , geht auch nicht aus der Mehrheit Q aus und berührt y^0 auf optimaler Weise in 0 . Q und U sind bauchige Mehrheiten, darum ist die Steuerung $U(t) = \frac{V(t) + \bar{V}(t)}{2}$ zulässig und erzeugt eine zulässige Laufbahn $y(t) = \frac{Z(t) + \bar{Z}(t)}{2}$.

Es ist leicht zu prüfen, da $U(t), y(t)$ eine Lösung der Aufgabe 1 darstellen.

Aus der Behauptung 2.1 folgt, da die optimale Laufbahn kann man nur unter die symmetrischen bezüglich die Ebene

$$\left\{ y \in R^4 : y_1 = y_3 = \frac{a_0}{2} \right\}.$$

Laufbahne suchen, die den Punkt y^0 in den Koordinatenursprung des Phasenraumes überführen (ihre Projektion auf der Ebene Γ werden symmetrisch bezüglich die Gerade $\xi_1 = 0$ sein). Nehmen wir weiter an, da die früher aufgebaute für derselbe Aufgabe (aber ohne Phasenbegrenzungen) Laufbahn geht aus der Mehrheit Q_i ($i = 1, 2, 3$) aus. Anderenfalls übereinstimmen die Lösungen sowohl mit Q_i , als auch ohne Q_i . Daraus folgt das ein Teil der Laufbahn muß an der Grenze der Mehrheit Q_i liegen oder diese Grenze anrühren. Für die Aufgaben mit den Phasenbegrenzungen wurde ein verallgemeinertes Maximumprinzip von L.S. Pontrjagin [19, 14]. Es behauptet, da für die Abschnitte der Optimallaufbahn, die innerhalb der zulässigen Phasenmehrheit Q_i ($i = 1, 2, 3$) liegen, gilt das gewöhnliche Maximumprinzip [19, 31], und für die Abschnitte, die an der Grenze liegen, gelten ähnliche Bedingungen, aber bei der zusätzlichen Voraussetzung der Regelmäßigkeit. Außerdem, für die gekoppelte Funktion auf den zwei benachbarten Abschnitte muß die Sprungbedingung erfüllen [31]. Die Gesamtheit von solchen lokalen Maximumprinzipien und Sprungbedingungen bilden ein Vollsystem der notwendigen Bedingungen der Optimalität der regelmäßigen Laufbahn. Im weiteren bei der Lösung der allen Optimisationsaufgaben werden wir dieses Gesamtergebnis und das gewöhnliche Maximumprinzip benutzen, um eine Klasse der Steuerungen (der Laufbahne), die optimalverdächtig sind, zu auszeichnen. Es ist zu bemerken, da kraft die obengenannten Symmetrie ist ausreichend anstatt der Gesamtlösung der Aufgabe A nur ihre erste Hälfte zu bilden, d.h. eine Lösung der Aufgabe des schnellstens Treffen aus dem Punkt y^0 auf die Ebene

$$\Gamma_1 = \left\{ y \in R^4 : y_1 = y_3 = \frac{a_0}{2} \right\},$$

(oder, in die Projektion auf Γ auf die Gerade $\xi_1 = 0$).

Betrachten wir die Lösung der Aufgabe 1 in der Mehrheit Q_1 .

Auf der Ebene der Variablen ξ_1, ξ_2 wird die Grenze der Mehrheit Q_1 aus zwei Geradenlinien bestehen, die parallel zu der Achse ξ_2 sind und befinden sich von dieser Achse auf der gleichen Entfernung $\lambda(\Delta_0)$ (Abb.2.30, d). Hier ist $\Delta_0 = l \sin \beta_0$, wo β_0 – die maximale Größe der Lastabweichung von der Vertikale. Wie vorher bezeichnen wir die Lösung der Ausganaufgabe 1 mit $U(t), y(t)$ bei $0 \leq t \leq T$. Die Ebene Γ befindet sich vollkommen innerhalb Q_1 , darum kann man einen Abschnitt der Optimallaufbahn des Treffens auf Γ_1 auszeichnen, der vollständig innerhalb Q_1 (außer dem Ausgangspunkt) liegt. Das gewöhnliche Maximumprinzip gewährleistet die Existenz der gekoppelten Funktion $\eta(t)$, $0 < \bar{t} \leq t \leq T/2$ für diesen Abschnitt und, infolge der Transversalitätsbedingungen für das "rechten" Ende, muß der Vektor $\eta(T/2)$ orthogonal zu Γ sein. Daraus folgt, da

$$\eta_2(T/2) = \eta_4(T/2) = 0,$$

und, folglich, $\eta_2(T/2)$ ist der Funktion (2.65) ähnlich.

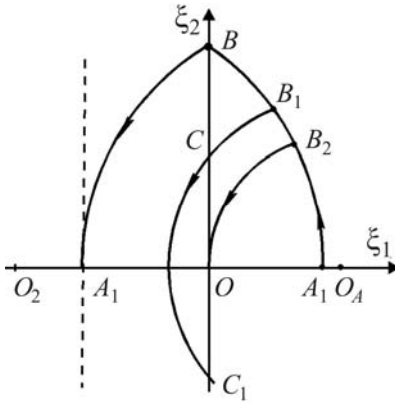


Abb. 2.31. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei

$$\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$$

sprechen werden, werden wir nur diese Punkte ($\xi_2 = 0$) beabsichtigen. Es ist nicht schwer mit Hilfe (2.71) zu prüfen, da die Bewegung auf der Grenze Q_1 (in der Ebene (2.71), $\{y \in R^4 : y_3 - y_1 = \pm \Delta_0, y_2 - y_4 = 0\}$) ist bei der Steuerung möglich. Damit ist zu erklären, da die weitere Untersuchung der Aufgabe 1 mit der Begrenzungen Q wird getrennt für zwei Fällen $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$ und $\lambda^2 \Delta_0 > \frac{K}{m_1}$ durchführt.

Weil betrachten wir nur solche Varianten der Anfangsbedingungen für die Aufgabe 1 bei deren trifft die Optimallaufbahn auf die Grenze von Q_1 ein, so ist es notwendig die Möglichkeit der Bewegung auf diese Grenze zu erlernen. Vor allem merken wir an, da nach dem Treffen in den beliebigen Punkt der Grenze, für denen $\xi_1 > 0, \xi_2 < 0$ oder $\xi_1 < 0, \xi_2 > 0$, wird die Anwendung einer beliebigen Steuerung die Phasenlaufbahn aus der Mehrheit Q_1 herausführen. Und die Grenzpunkte für denen $\xi_1 > 0, \xi_2 > 0$ oder $\xi_1 < 0, \xi_2 < 0$ können überhaupt von außen Q_1 erreicht werden. Folglich, kann die beliebige Laufbahn, die den Begrenzungen von Typ Q_1 entspricht, nur in solche Grenzpunkte treffen, für denen $\xi_2 = 0$. Darum überall im Weiteren, wenn wir über die Grenze der Mehrheit Q_1

Soll $\Delta \rightarrow 0$ so sein, da $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$ (Abb. 2.31), so sind die Phasenkoordinaten-

begrenzung, wenn $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$ Möglichkeiten der Steuerung für die Bewegung auf der Grenze

ausreichend. Auf der Ebene Γ entspricht einer solchen Laufbahn der Punkt $A(\lambda \Delta_0, 0)$ bei $U = -\lambda^2 \Delta_0$ oder der Punkt $A(-\lambda \Delta_0, 0)$ bei $U = \lambda \Delta_0$. Jedoch, ist für jeden Grenzpunkt y die Mehrheit $W(y)$ der zulässigen Steuerungswerte, bezüglich denen ist y regelmäßig, leer [14]. Tatsächlich, in diesem Fall

$$g(y) = y_1 - y_2 \pm \Delta_0; \quad P(y, u) = \sum_1^4 \frac{\partial g(y)}{\partial y_i} f_i(y, u) = y_2 - y_4,$$

wo $g(y)$ – eine Funktion, die das Gebiet Q bestimmt; $f_i(y, u) - i$ – die Koordinate der Vektor-Funktion, $i = 1, 2, 3, 4$. Folglich:

$$\frac{\partial P(y, u)}{\partial U} = 0, \quad U \in U.$$

Also, ist die beliebige Laufbahn, die ganz auf der Grenze liegt, nicht regelmäßig und kann man ein gesamtes Maximumprinzip nicht ausnutzen. Aber ist die Aufgabelösung durch die Tatsache erleichtert, da für jeden Grenzpunkt existiert nur eine einzige Laufbahn, die ganz auf der Grenze Q_i liegt und diesen Punkt enthält. Jedem Wert $a_0 \geq 0$ entspricht seine Zeit $T(a_0)$ des optimalen Treffens von $(a_0, 0, a_0, 0)$ aus in 0. Natürlich ist eine solche Voraussetzung: wenn $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$, so $T(a'_0) < T(a_0)^2$, d.h. je ferner ist der Kran von dem Zielruhezustand, desto größer ist die Zeit des schnellstens Treffens in diesen Zustand. Die Beweisung dieser Tatsache folgt aus dem Theorem 1 [14], das bleibt auch für den Fall der Phasenbegrenzungen geltend.

Die Aufbildung der Lösung der Aufgabe 1 und die Beweisung ihrer Optimalität beginnen wir so: in Voraussetzung, das der letzte Grenzpunkt vor dem Treffen auf $T_1(\varepsilon_1 = 0)$ liegt auf der rechten Grenze der Mehrheit Q_1 (der Punkt A Abb. 2.31), zeigen wir die beste im Sinne der Schnelligkeit Laufbahn und Steuerung, die diesen Punkt in Γ_1 überführen. Also, soll $A(\lambda \Delta_0, 0)$ (diesem Punkt entspricht irgendwelcher Phasenpunkt $(a_1, a_2, a_1 + \Delta_0, a_2)^T$) – ein Punkt der Optimallaufbahn, der auf der Grenze $\{y \in R^4 : y_3 - y_1 = \Delta_0\}$ liegt. Weiter liegt es ein Abschnitt des Treffens auf Γ_1 , der ganz innerhalb Q_1 liegt. Gemäß der früheren Aussage über die Auswahl der gekoppelten Funktion für diesen Abschnitt erhalten wir, da wenn die erzeugende Steuerung mehr als eine Umschaltung enthält, so muß entweder der letzte, oder der vorletzte Bewegungsabschnitt mit dem konstanten $U \approx \pm \frac{K}{m_1}$ eine Zeitdauer größer als π/λ

haben (Abb. 2.31). Aber für den Fall $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$, was kann man leicht auf der Abb. 2.31 sehen, kann im zulässigen Phasenbereich kein ganze Bewegungsabschnitt mit der konstanten Steuerung $U = \pm \frac{K}{m_1}$ liegen, der eine Dauer größer als π/λ hat. Also wird der Übergang von A auf Γ_1 auf der Laufbahn AB , AB_1C oder AB_1CC_1 erfolgen, wobei B_1 liegt auf dem Bogen B_2B (Abb. 2.31).

Nehmen wir an da das Treffen von A aus auf Γ_1 erfolgt auf AB_1C oder AB_1CC_1 . Aber während der Zeit des Übergangs des Systems von A aus auf Γ kann man auf dem Weg AB_1C oder AB_1CC_1 auf der Laufbahn Typ $AA''B'$ eine größere Strecke vorbeifahren. Aufgrund von (2.35) erhalten wir den Unterschied der Wege auf den Laufbahnen AB_1C (AB_1CC_1) und $AA'B'$:

$$\alpha(t_1, t_2, \Delta_0, K, l, m_1, m_2) = \frac{K}{m_1 + m_2} \left[\frac{(t_1 + t_2)^2}{2} - t_2^2 + \frac{m_2}{m_2 \lambda^2} (\cos \lambda t_2 - \cos \lambda (t_1 + t_2) - 1) \right] -$$

$$- \frac{K}{m_1 + m_2} \left\{ \frac{(t_1 + t_2 - \Theta)^2}{2} + \frac{m_2}{m_1 \lambda^2} [1 - \cos \lambda (t_1 + t_2 - \Theta)] + \frac{m_1 \lambda^2 \Delta_0}{K} \left[\frac{(t_1 + t_2 - \Theta)^2}{2} - \frac{(t_1 + t_2)^2}{2} \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{m_2 \lambda^2 \Delta_0}{\lambda^2 K} [\cos \lambda (t_1 + t_2 - \Theta) - \cos \lambda (t_1 + t_2)] \right\},$$

wo t_1, t_2, Q – die Bewegungszeiten bzw. auf AB_1, B_1C (B_1CC_1), AB ($A'B'$).

Ändern wir alle Aufgabeparametern bei t_1 von t_3 bis Q , wobei t_3 – die Bewegungszeit auf dem AB_2 ist, dann erhalten wir, da die Funktion d' ist überall positiv (Abb. 2.31). Auf dieser Weise, infolge des strengen Wachstums von $T(a_0^0)$, hat der letzte Abschnitt der Optimallaufbahn des Treffens auf Γ , der ganz innerhalb der Mehrheit liegt, die Form AB .

Der Bewegungsstufe aus dem Punkt A können mehrere wechselnde Bewegungsstufen innerhalb Q_1 und auf der rechten Grenze Q_1 vorangehen. Ohne die Begrenzung der Gemeinschaft kann man annehmen, da die optimale Laufbahn trifft in A aus dem Innen von Q_1 . Soll A' – ein Punkt der rechten Grenze, nach dem trifft die optimale Laufbahn zum erstenmal auf die rechte Grenze im Punkt A . Beschreiben wir alle m gleiche Varianten der Übergang aus A' in A und zeigen wir, da die allerbeste aus A' wird im A , wie früher, die Form $A'A''B''$ haben. Kraft der Voraussetzung über den Punkt A' wird die weitere optimale Bewegung auf der Laufbahn des Systems (2.35) mit $U = K/m_1$ bis irgendwelchem Punkt D , der zwischen A' und B' legt und im welchen die Steuerungsumschaltung erfolgt, verlaufen.

Dabei sind zwei Situationen möglich je nach dem Treffen der Übergangslaufbahn aus A' in A auf die rechte Grenze Q_1 . Wenn nicht, so kann die Laufbahn nur die Form $A'DD_1D_2A$ (Abb. 2.32) haben. Wirklich, soll im irgendwelchen Punkt des Abschnitt DD_1D_2 eine Steuerungsumschaltung erfolgen, so sind, um in A zu treffen, mindestens noch zwei

Umschaltungen nötig. Aber wenn innerhalb des Bereiches Q_1 gibt es mehr als vier Umschaltungen, so muß die Zeit zwischen irgendwelchen zwei größer als π/λ sein, was bei $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$ unmöglich

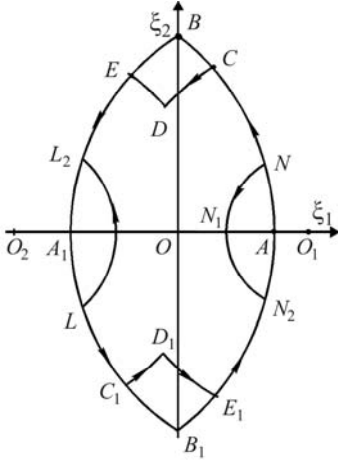


Abb. 2.32. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei Nenngeschwindigkeitsbewegung,

$$\text{wenn } \lambda^2 \Delta_0 > \frac{K}{m_1}$$

ist. Um zu prüfen, da auf der optimalen Laufbahn gibt es keinen Abschnitt von Typ $A'DD_1D_2A$, ist es genug zu zeigen, da während der Zeit der Übergang des Systems von A' aus in A auf $A'DD_1D_2A$ ist es möglich bei der Bewegung mit $U = -\lambda^2 \Delta_0$ in den Punkt $A'' = (a_1'', a_2'', a_1'' + \Delta, a_2'')^T$ treffen, für den $a_1'' < a_1$, $a_2'' < a_2$. Daraus folgt der Widerspruch dem strengen Wachstum. Bezeichnen wir als $d_1(U_1(\cdot), U_2(\cdot))$, $d_2(U_1(\cdot), U_2(\cdot))$ die Unterschiede der Werte der Verschiebungen und Geschwindigkeiten in den Endpunkte von zwei Laufbahnen, die ein gemeinsamen Ausgangspunkt haben und wurden entsprechend durch die Steuerungen $U_1(t)$, $U_2(t)$ bei $0 \leq t \leq T$ erzeugt.

Im unseren Fall können wir für die Laufbahnen $A'DD_1D_2A$ und $A'A''$ erhalten:

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{K}{m_1 + m_2} \left[\frac{(2t_1 + t_2)^2}{2} - (t_1 + t_2)^2 + t_1^2 \right] + \frac{Km_2}{\lambda^2 m_1 (m_1 + m_2)} \times \\ &\times \left[2 \cos \lambda (t_1 + t_2) - 2 \cos \lambda t_1 + 1 - \cos \lambda (t_2 + 2t_1) \right] + \lambda^2 \Delta_0 \frac{1}{m_1 + m_2} \times \\ &\times \left\{ \frac{m_1 (t_2 + 2t_1)^2}{2} + \frac{m_2}{\lambda^2} \left[1 - \cos \lambda (1 - \cos \lambda (t_2 + 2t_1)) \right] \right\}; \\ d_2 &= \frac{K}{m_1 + m_2} (2t_1 - t_2) + \frac{Km_2}{\lambda^2 m_2 (m_1 + m_2)} \left[\sin \lambda (2t_1 + t_2) - 2 \sin \lambda (t_1 + t_2) + 2 \sin \lambda t_1 \right] + \\ &+ \lambda^2 \Delta_0 \frac{1}{m_1 + m_2} \left[m_1 (t_2 + 2t_1) + \frac{m_2}{\lambda} \sin \lambda (2t_1 + t_2) \right], \end{aligned}$$

wo t_1, t_2 sind entsprechend die Bewegungszeiten für $A'D(D_2A)$ und DD_1D_2 .

Für uns ist nur das qualitative Verhalten von d_1 und d_2 interessant, und zwar ihre Nichtnegativität. Darum kann man als Variablen nicht die absolute Werte k , Δ_0 , m_1 , m_2 betrachten, sondern die Verhältnisse Δ_0/K und m_2/m_1 :

$$0 \leq \Delta_0/K.$$

Bei der beliebigen Auswahl der Werte dieser Verhältnisse bleiben d_1 und d_2 nicht negativ, wenn t_1 ändert sich von 0 bis ∞ und

$$t_2 = \frac{1}{\lambda} \arctg \left[\frac{(K + \lambda^2 m_2 \Delta_0) \sin \lambda t_1}{2K - (K + \lambda^2 m_1 \Delta_0) \cos \lambda t_1} \right]. \quad (2.72)$$

Nehmen wir jetzt an, da die Übergangslaufbahn von A' aus in A trifft auf die linke Grenze Q_1 (auf der Ebene Γ_1 gibt es entsprechender Punkt A') (Abb. 2.31). Dann wird die allgemeinste Art dieser Laufbahn (bezeichnen wir sie als δ_1) folgende (Abb. 2.31): die Bewegung von A' aus bis zur erste Begegnung mit der linken Grenze – $A'CDEA_1$; die Bewegung auf der linken Grenze Q_1 – A'_1A_2'' oder das Weggehen und Rücktritt auf die Grenze – $A'_1LL_1A_2A_1''$ (es sind mehrere solche auch wechselnde Abschnitte möglich); der Übergang von A_1'' aus in A ohne das Treffen auf die linke Grenze $A_1''C_1D_1E_1A$. Weiter werden wir zeigen, da eine solche umfangreiche Stufe auf der optimalen Laufbahn ist unmöglich. Dafür benutzen wir die Lösungen solcher Optimisationsaufgaben: es ist das System (2.35) während der Zeit T_1 von dem Punkt \bar{y} aus in die Zielmehrheit G zu überführen, mit der Minimisierung des Funktional $\Phi_1(y(T_1)) = y_2(T_1) - \bar{y}_2$ (die Aufgabe 4°): $\Phi_2(y(T_1)) = y_1(T_1) - \bar{y}_1$ (die Aufgabe 5). Wenn überschreiben wir Φ_1 und Φ_2 in der Integralform

$$\begin{aligned} \Phi_1(y(T_1)) &= \int_0^{T_1} \dot{y}_2(\tau) d\tau = \int_0^{T_1} \left(-\frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} y_1 + \frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} y_3 + u \right) d\tau; \\ \Phi_2(y(T_1)) &= \int_0^{T_1} \dot{y}_1(\tau) d\tau = \int_0^{T_1} y_2(\tau) d\tau, \end{aligned}$$

und führen wir die Variablen

$$y_0(t) = \int_0^t \left[\frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} (y_3(\tau) - y_1(\tau)) + u(\tau) \right] d\tau \left[y_0(t) = \int_0^t y_2(\tau) d\tau \right], \quad y_5(t) = t,$$

ein, so kann man die Aufgaben in der Äquivalentform überschreiben [14, 19]. Dabei werden zu Steuerungssystem solche Steuerungen hinzufügen:

$$\dot{y}_0 = -\frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} y_1 + \frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} y_3 + u,$$

$\dot{y}_5 = 1$ für die Aufgabe 4 und $y_5 = 1$ – für die Aufgabe 5. Die gekoppelten Systeme werden:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\phi}_0 = 0; \\ \dot{\phi}_1 = \frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} (\phi_2 + \phi_0) - \frac{g}{l} \phi_4; \\ \dot{\phi}_2 = -\phi_1; \\ \dot{\phi}_3 = -\frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} (\phi_2 + \phi_0) + \frac{g}{l} \phi_4; \\ \dot{\phi}_4 = -\phi_3; \\ \dot{\phi}_5 = 0, \end{array} \right. \quad (2.73)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\phi}_0 = 0; \\ \dot{\phi}_1 = \frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} \phi_2 - \frac{g}{l} \phi_4; \\ \dot{\phi}_2 = -\phi_1 - \phi_0; \\ \dot{\phi}_3 = -\frac{m_2}{m_1} \frac{g}{l} \phi_2 + \frac{g}{l} \phi_4; \\ \dot{\phi}_4 = -\phi_3; \\ \dot{\phi}_5 = 0. \end{array} \right. \quad (2.74)$$

Gemäß dem Maximumprinzip erhalten wir den notwendigen Bedingungen für die optimale Steuerung, die eine Laufbahn erzeugt, die innerhalb Q_1 liegt:

$$u(t) = \frac{K}{m_1} \text{sign}(\phi_2 + \phi_0); \quad u(t) = \frac{K}{m_1} \text{sign} \phi_2.$$

Wir werden diese Aufgaben für $\bar{y} = (a'_1, a'_2, a'_1 + \Delta_0, a'_2)$ – der Punkt A' – betrachten. Als G nehmen wir die Mehrheit der Punkte der linken Grenze und T_1 wird gleich der Zeit der Bewegung auf der Laufbahn $A'CDEA'$. Nutzen wir die Transversalitätsbedingungen aus. Die Zielmehrheit G wird durch solche Verhältnisse bestimmt:

$$y_3 = y_1 = -\Delta_0; \quad y_2 - y_4 = 0.$$

Also ist ϕ_i in beiden Fällen durch

$$\phi_1(T_1) + \phi_3(T_1) = 0, \quad \phi_2(T_1) + \phi_4(T_1) = 0,$$

begrenzt.

Aufgrund (2.40) erhalten wir für die Aufgabe 4:

$$\phi_2(t) + \phi_0(t) = C_1 + C_2 \sin(\lambda t + \alpha). \quad (2.75)$$

Aus (2.41) folgt, da die gekoppelte Funktion in der Aufgabe 5 befriedigt solchen Bedingungen:

$$\phi_2(t) = C_1 + C_2 t + C_3 \sin(\lambda t + \alpha); C_1 + C_2 T_1 = 0. \quad (2.76)$$

Die Verhältnisse (2.75), (2.76) zeigen, da der Abschnitt der Laufbahn der Lösung sowohl 4, als auch 5, ganz liegender innerhalb Q_1 (außer den Anfangs- und Endpunkte), kann bei $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$ nur die Form $A''B''A_1''$ haben. Tatsächlich, anderenfalls bestehen für die

Aufgaben 4 und 5 eigene optimale Laufbahnen, die A' in A_1' überführen. Sie beide enthalten ein Übergangsabschnitt von der rechten Grenze Q_1 aus auf die linke Grenze. Wenn diese

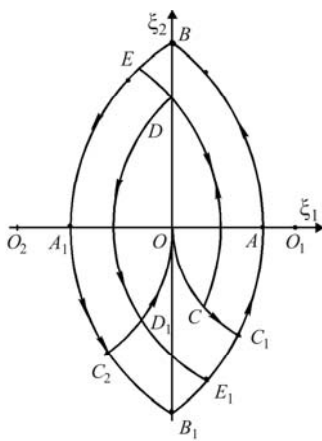


Abb. 2.33. Projektionen der Phasentrajektorien des Systems beim Bremsen, wenn

$$\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_1}$$

Abschnitte (oder einer von deren) haben die Form $A''B''A_1''$ nicht, so kann man aufgrund der vorigen Überlegungen diese Abschnitte verbessern, was der Optimalität widerspricht. Im Anfang- und Endpunkt der Abschnitt $A''B''A_1''$, nimmt der Krangeschwindigkeit derselben Wert auf, deshalb kann man die Abschnitte $A_1''A_1'''$ und $A_1''LL_1L_2A_1'''$ durch $A''A'''$ und $A''NN_1N_2A'''$ entsprechend ersetzen, bei der gleichzeitiger Verkleinerung von Φ_1 und Φ_2 . Das beweist auch auf das Fehlen der zweiten Stufe bei der Laufbahn Typ δ_1 . Außerdem, wie es früher schon beweist wurde, hat das Ersetzen der Abschnitte Typ $A''NN_1N_2A'''$ (bei der gleichen Bewegungszeit) durch die Bewegung bei $U = -\lambda^2 \Delta_0$ zur Folge die Minimierung von Φ_1 und Φ_2 . Also, der Übergang von A' aus auf die linke Grenze ist nur auf der Laufbahn $A'B'A_1'$ möglich. Eberfalls, dir Laufbahn der Rückkehr auf die rechte Grenze (in den Punkt A) hat die Form $A_1'B_1'A$. Aber wie $A'DD_1D_2A$ könnte die Bewegung $A'B'A_1'B_1'A$ nicht optimal sein.

Folglich, auf der Lösung 1 gibt es keine Stufen Typ δ_1 .

Also erhalten wir auf diese Weise, da wenn liegt der letzte Grenzabschnitt der optimalen Laufbahn des Treffens auf Γ_1 an der rechten Grenze von Q_1 , so wird sie bis zum Erreichen dieser Grense aus der Bewegungsstufen innerhalb Q_1 und auf der linken Grenze bestehen, und nach dem Treffen auf die rechte Grenze bleibt sie dort bis ein Übergang auf den irgendwelchen Bogen Typ $A'B'$ (Abb. 2.33) in Γ_1 führen wird. Nehmen wir an, da die Stufe, die dem Treffen auf die rechte Grenze vorangeht, liegt ganz innerhalb des Bereiches Q_1 (im allgemeinen sieht sie wie $O'CDD_1A$ aus). Hier kann man auch die Aufgaben 4 und 5 für $\bar{y} = y_0$ und $G = \{y \in R^4 : y_3 - y_1 = \Delta_0, y_2 - y_4 = 0\}$. Als T_1 nehmen wir dle Zeit der Bewegung auf $O'CDD_1A$. Aus Transversalitätsbedingungen erhalten wir die Verhältnisse (2.75), (2.76) woher folgt, da die Laufbahn des Treffens auf die rechte Grenze, die innerhalb Q_1 liegt,

sieht wie $O'C_1A$ aus. Falls liegt die Laufbahn des Erreichens der rechten Grenze teilweise auf der linken Grenze, so hat sie im allgemeinen ein solcher Aussicht: ein Übergang aus dem Punkt $O(y_0)$ auf die linke Grenze über irgendwelche Laufbahn Typ $O'CDEA_1$; die Bewegungsabschnitte über die linke Grenze, das Weggehen und der Rücktritt davon (die zweite Stufe); ein Übergang von der linken Grenze auf die rechte. Bezüglich die Übergangslaufbahn von einer Grenze auf die andere ist schon bekannt, da sie nur den Aussicht $A_1'B_1'A$ haben soll. Daraus folgt sofort das Fehlen der zweiten Stufe. Daher ist das Erreichen der rechten Grenze aus dem Punkt y^0 nur über die Laufbahn Typ $O'CDEA_1B_1A$ möglich. Es ist nicht schwer zu

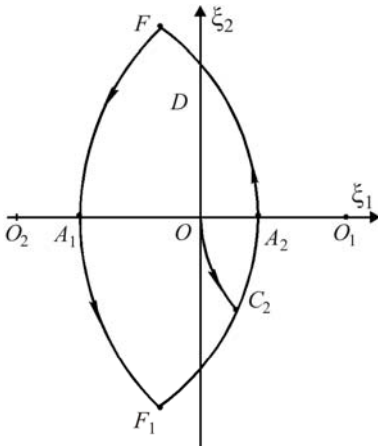


Abb. 2.34. Projektion der Phasentrajektorien des Systems ohne Laufkatzenschwindigkeitsbegrenzung

prüfen, da die Bewegungszeit in solchen Fall ist immer nicht größer als $2\pi/\lambda$. Nehmen wir jetzt an, da die linke Grenze fehlt. Die Lösungen der Aufgaben 4 und 5 für $\bar{y} = y_0$, $G = \{y \in R^4 : y_3 - y_1 = \Delta_0, y_2 - y_4 = 0\}$ und für T_1 , die gleich der Bewegungszeit über $O'CDEA_1B_1A$ ist, geben die notwendigen Bedingungen (2.74) und (2.75). Daraus folgt, da das Treffen auf die rechte Grenze über die Laufbahn $O'C_1A$ und weitere Bewegung bei $U = -\lambda^2\Delta_0$ wird während der Zeit T_1 in einen solchen Punkt G führen, für welchen werden die Koordinaten der Krangeschwindigkeit und Kranverschiebung womöglich klein sein. Das gilt je mehr bei der Anwesenheit der linken Grenze. Aufgrund der Behauptung über die Steigerung von $T(a)$ kann man zeigen, da der Abschnitt der optimalen Laufbahn, der dem Treffen auf die rechte

Grenze entspricht, kann nur die Art $O'C_1A$ haben.

Bei der Lösung der Aufgabe 1 in Q_1 ($\lambda^2\Delta_0 + \leq K/m_1$) nutzen wir die Annahme aus, da die erste Hälfte der optimalen Laufbahn trifft auf die rechte Grenze. Nehmen wir einen entgegengesetzten Fall an, und soll A_2 ($\alpha\lambda\Delta_0, 0$), $0 \leq \alpha \leq 1$ – der reichste Punkt des Abschnittes OA der Achse ξ_1 , durch welchen läuft diese Laufbahn (Abb. 2.34). Statt die Mehrheit Q_1 betrachten wir die begrenzende Mehrheit $O'_1 = \{y \in R^4 : -\lambda D_0 \leq y_3 - y_1 \leq \alpha\lambda\Delta_0\}$. Das heißt, da die rechte Grenze läuft durch den Punkt A_2 . Offensichtlich stimmen die optimale Laufbahne der Aufgaben des Treffens auf Γ_1 in O'_1 , und in überein. Jedoch liegt diese Laufbahn in der Mehrheit O'_1 auf der rechten Grenze. Dabei löst sich die Aufgabe des schnellsten Treffers auf Γ_1 in O'_1 ähnlich dem Fall der Begrenzungen von Q_1 . Tatsächlich haben wir wesentlich die Art der Laufbahn der Übergang von einer Grenze auf die andere ausgenutzt, und, zwar die Übereinstimmung der Krangeschwindigkeitswerte in den Endpunkte dieser laufbahn. Es ist aber leicht zu prüfen, da in Q'_1 ist die Krangeschwindigkeit auf der rechten Grenze bei der Bewegung auf der Laufbahn Typ A_2FA , $A_1F_1A_2$ immer größer, als auf der

linken Grenze. Also gelten die oben genannten Überlegungen noch mehr auch für Q_1 . Daraus folgt, da die erste Hälfte der Optimallaufbahn der Aufgabe 1 in Q_1 sieht wie $O'C_2A_2A_2'B_3'$, was ist offensichtlich falsch. Das beweist die Gerechtigkeit der obengenannten Voraussetzung. Nehmen wir an, da die linke Grenze für die Aufgabe des schnellstens Treffens von y_0 aus in Γ_1 fehlt. Die Optimallaufbahn trifft in diesem Fall unbedingt auf die rechte Grenze. Sie mu aber dann die Art $O'C_1AA'B'$ haben. Derselbe Laufbahn gilt als die Lösung auch bei dem Vorhandensein der beiden Grenze Q_1 . Also, bei den wesentlichen Begrenzungen Q_1 wurde die rechte Grenze schon auf der rechten Hälfte der Lösung der Aufgabe 1 erreicht.

Auf solche Weise sieht die Lösung 1 wie $O'C_1AA'B'A_1'C_2O$ aus (Abb. 2.34). Um die Steuerung, die eine solche Bewegung erzeugt, zu bestimmen, ist genug bei dem vorgegebenen a_0 , S – die Zeit der Bewegung auf der Grenze (AA' oder A_1A_1') finden aus der Gleichungen:

$$a_0 + \frac{1}{m_1 + m_2} \left\{ K \left[(t_2 + S + \Theta)^2 - \frac{(t_1 + t_2 + S + \Theta)}{2} \right] + (K + \lambda^2 m_1 \Delta_0) \left[\frac{\Theta}{2} - \frac{(S + \Theta)^2}{2} \right] \right\} + \frac{m_2}{\lambda^2 m_1 (m_1 + m_2)} \times \\ \times \left\{ K [\cos \lambda (t_1 + t_2 + S + \Theta) - \cos \lambda (t_2 + S + \Theta)] + (K + \lambda^2 m_1 \Delta_0) [\cos (S + \Theta) - \cos \lambda \Theta] + K \right\} = \frac{a_2}{2},$$

wo t_1 , t_2 , Θ – die Zeiten der Bewegung auf $Q'C_1(C_2O)$, $C_1A(A_1C_2)$, $A'B'(B'A_1')$ entsprechend. Also ist, im diesen Fall nur die Stufe des Treffens auf J_2 hinzuweisen. Bevor das in Θ_1 zu machen, bemerken wir, da für die Begrenzungen

$$Q_1(\alpha) = \left\{ y \in R^4 : (y_3 - y_1) \left(\leq \frac{K}{m_1 \lambda^2} + \alpha \right) \right\},$$

wenn $\alpha > 0$ ausreichend klein ist, diese Stufe wird wie OCD_1 aussehen kraft das Vorhandensein einer schwachen Abhängigkeit der Lösung von der Steuerungsfunktion. Werden wir allmählich α vergrößern. Nehmen wir an, da besteht ein solcher α_0 , bei dem gibt es in $\Theta_1(\alpha_0)$ außer der Optimallaufbahn mit der Übergangsstufe Typ OCD_1 noch eine andere Optimallaufbahn, die auf linke $\Theta_1(\alpha_0)$ trifft. Folglich gibt es in $\Theta_1(\alpha_0)$ zwei verschiedene Lösungen der Aufgabe 1. Dann stellt die beliebige ihre (bauchige) Zusammensetzung auch eine Lösung von 1 in $\Theta_1(\alpha_0)$ dar. Aus dem Maximumprinzip folgt, da innerhalb des Bereiches $\Theta_1(\alpha_0)$ müssen sie übereinstimmen. Also sieht die Stufe des Treffens auf J_2 für die beliebige Begrenzungen Θ_1 wie OCD_1 aus. Die konkrete Auswahl ist von α_0 abhängig und sie kann man durch den Vergleich von allen ähnlichen Bewegungsvarianten durchführen. Die Beweisung der Tatsache des Treffens der Laufbahn der Aufgabe 1 auf die rechte Grenze ist wie im Pall $\lambda^2 \Delta_0 \leq \frac{K}{m_2}$ durchzuführen.

2.10. Чисельні методи розрахунку законів оптимального керування та кривих перехідних процесів при різних видах керування.

Numerische Berechnungsmethoden für die Optimalsteuerungsgesetze und die Übergangsvorgängerkurven bei den verschiedenen Steuerungsarten

2.10.1. *Грейферно-бункерний перевантажувач вантажопідйомністю 800 т. Greifer-Bunker-Umlader mit der Leistungsfähigkeit 800 t/St*

Die Ausgangsdaten der Berechnung:

m_1 – die angeführte Laufkatzenmasse;

m_2 – die Lastmasse;

K – die maximale Bewegungskraft;

W – die statische Widerstandskraft;

Δ_0 – maximale zulässige Lastabweichung von der Vertikale;

l – Lastaufhängenlänge;

v_0 – Nenngeschwindigkeit der Laufkatzenbewegung;

S – Sollweg der Laufkatze.

Es wurden die Algorithmen entwickelt und das FORTRAN-Programmpaket zusammengesetzt und folgende numerische Berechnungen des optimalen Steuerungsgesetzes durchgeführt.

Variante 1 (Abb. 2.35). Bei dieser Variante gibt es keine Begrenzung der Größe der Lastaufschaukeln während der Bewegung. Kennzeichnend für diese Variante ist die Tatsache, daß beim Bremsen ist die Bewegung der Laufkatze in Rückrichtung möglich.

Die Ausgangsdaten:

$m_1 = 7425$ kg;

$m_2 = 6200$ kg;

$K = 22620$ N;

$W = 13070$ N;

Δ_0 – nicht begrenzt;

$l = 6,2$ m;

$v_0 = 1,77$ m/s;

$S = 18,7$ m.

Der Knick der Geschwindigkeitskurve der Laufkatze y_2 im Punkt, wo $y_2 = 0$ kann durch die Änderung der Wirkungslinie der statischen Widerstandskraft auf die entgegengesetzte erklärt werden.

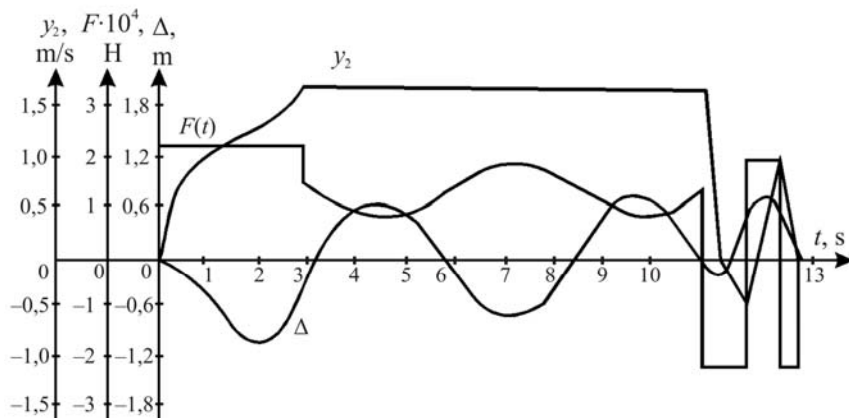


Abb. 2.35. Übergangsvorgängeschaubilder des Systems ohne Aufschaukelnbegrenzung

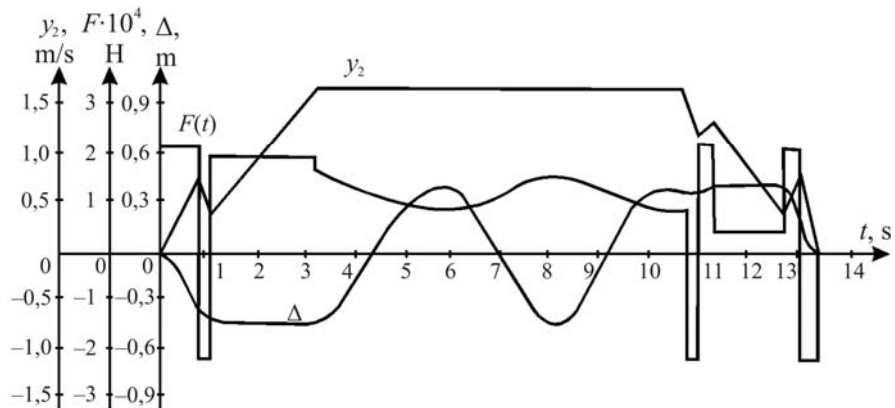


Abb.2. 36. Übergangsvorgängeschaubilder bei $\Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$

Variante 2 (Abb. 2.36). Das ist die Variante mit der Begrenzung der Lastabweichung, wobei $\Delta_0 \leq \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$. Für diese Variante ist kennzeichnend das Vorhandensein der Stufen mit

dem Festhalten des Lastes in abgewichenen Lage auf der Größe $\frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$. Genau im diesen

Fall ist die maximale Geschwindigkeit realisiert.

Die Ausgangsdaten:

$$m_1 = 7425 \text{ kg};$$

$$m_2 = 6200 \text{ kg};$$

$$K = 22620 \text{ N};$$

$$W = 13070 \text{ N};$$

$$D_0 = 0,44 \text{ m};$$

$$l = 6,2 \text{ m};$$

$$v_0 = 1,77 \text{ m/s;}$$

$$S = 18,7 \text{ m.}$$

Variante 3 (Abb. 2.37). Das ist die Variante mit $\Delta_0 > \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$. Kennzeichnend für diese

Variante ist die Abwesenheit des Abschnittes mit dem Festhalten des Lastes im abgewichenen Lage während der Beschleunigung, insofern dafür ist eine bewegende Kraft, die größer als zulässige ist, nötig.

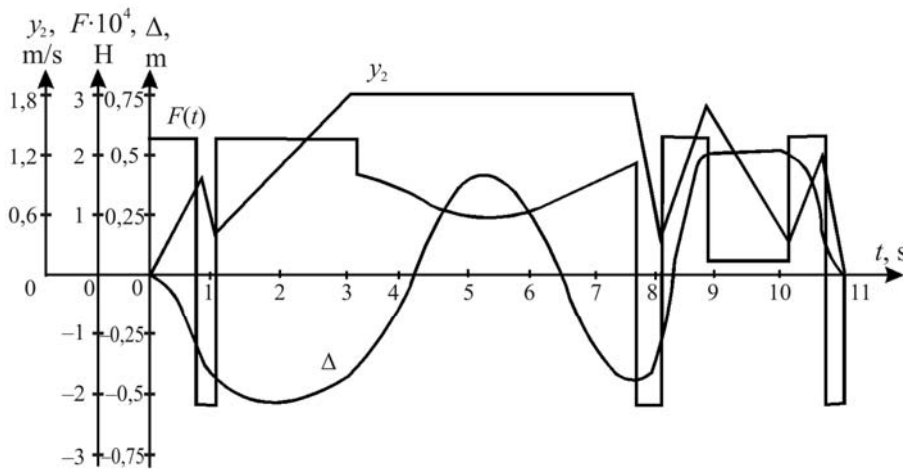


Abb. 2.37. Übergangsvorgängeschaubilder bei $\Delta_0 > \frac{K-W}{m_1 \lambda^2}$

Die Ausgangsdaten:

$$m_1 = 7425 \text{ kg;}$$

$$m_2 = 6200 \text{ kg;}$$

$$K = 22620 \text{ N;}$$

$$W = 13070 \text{ N;}$$

$$D_0 = 0,55 \text{ m;}$$

$$l = 6,2 \text{ m;}$$

$$v_0 = 1,77 \text{ m/s;}$$

$$S = 18,7 \text{ m.}$$

Variante 4 (Abb. 2.38). Hier gibt es keine Begrenzungen der Laufkatzensgeschwindigkeit und des Lastaufschaukelns. Es gibt keine Stufe der stationären Bewegung.

Offensichtlich kann man dabei die kleinste Dauer der Umladezyklen erreicht werden, aber ist zu berücksichtigen, daß während des Bremsens kann der Last wesentlich von der Vertikale abweichen.

Die Ausgangsdaten:

$m_1 = 7425 \text{ kg};$
 $m_2 = 6200 \text{ kg};$
 $K = 22620 \text{ N};$
 $W = 13070 \text{ N};$
 D_0 – nicht begrenzt;
 $l = 6,2 \text{ m};$
 v_0 – nicht begrenzt;
 $S = 18,7 \text{ m}.$

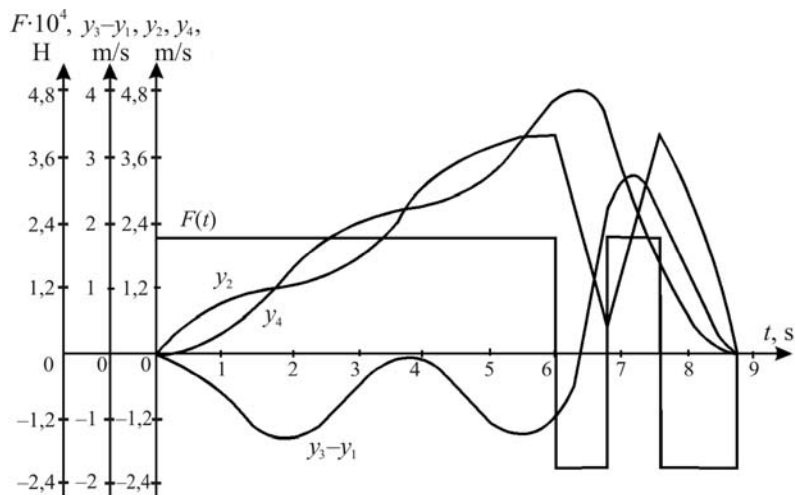


Abb.2. 38. Übergangsvorgängeschaubilder des Systems ohne Laufkatzen Geschwindigkeits- und ohne Aufschaukelbegrenzung

Variante 5 (Abb. 2.39). In dieser Variante ist die Tatsache berücksichtigt, daß die bewegende Kraft in den mechanischen Systeme kann momentan ihrer Wert nicht ändern, sonder ist dafür bestimmte Zeit t_p nötig. Im Ergebnis ist die Geschwindigkeitskurve wesentlich "glatter". Durch die Änderung von t_p kann man optimale Steuerungsgesetze erhalten, die zur Minderung der dynamischen Beanspruchungen in der Stahlkonstruktion des Krans führen.

Die Ausgangsdaten:

$m_1 = 7425 \text{ kg};$
 $m_2 = 6200 \text{ kg};$
 $K = 22620 \text{ N};$
 $W = 13070 \text{ N};$
 D_0 – nicht begrenzt;
 $l = 6.2 \text{ m};$
 $v_0 = 1,77 \text{ m/s};$

$$S = 18,7 \text{ m};$$

$$t_p = 0,3 \text{ s}.$$

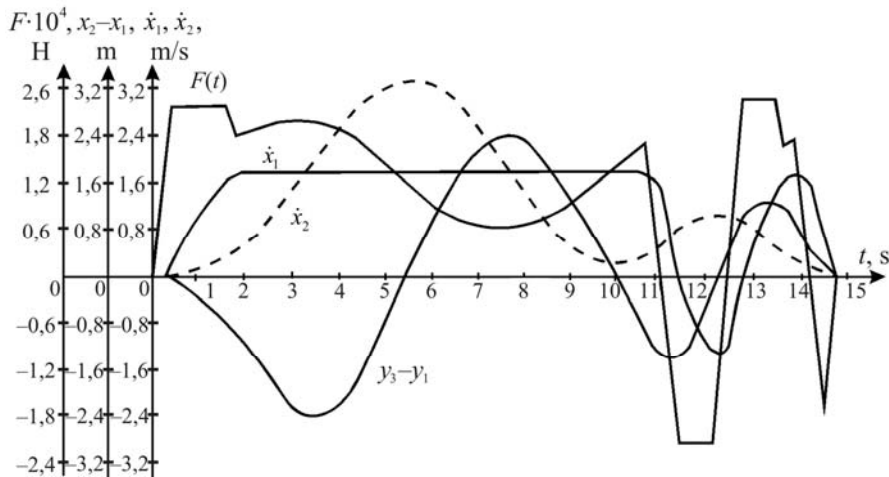


Abb.2. 39. Übergangsvorgängeschaubilder des Systems bei linearer Änderung der bewegenden Kraft

2.10.2. Грейферно-мостовий кран вантажопідйомністю 3,2 т. Greifer-Brückenkran mit Tragfähigkeit 3.2 t

Zur Berechnung war ein FORTRAN-Program zusammengesetzt. Die Ausgangsdaten sind:

m_1 – Masse der Laufkatze oder der Brücke;

m_2 – die Lastmasse;

K – die maximale Bewegungskraft;

W – die statische Widerstandskraft;

l_0 – Anfangslänge des Seiles;

l_k – Endlänge des Seiles;

v_0 – Nenngeschwindigkeit der Laufkatzenbewegung;

v_h – Heben-Senken-Geschwindigkeit;

S – Sollweg der Laufkatze;

e – Dämpfungsfaktor.

Die Rechnungen waren für den Greifer-Brückenkran mit der Leistungsfähigkeit 3,2 t durchgeführt. Die Laufkatze des Brückenkranes hat folgende Parameter:

$$m_1 = 3600 \text{ kg};$$

$$m_2 = 3200 \text{ kg};$$

$$K = 3400 \text{ N};$$

$W = 1010 \text{ N};$
 $l_0 = 7 \text{ m};$
 $l_k = 7 \text{ m};$
 $v_0 = 0,66 \text{ m/s};$
 $v_h = 0,35 \text{ m/s};$
 $S = 18 \text{ m};$
 $e = 0,1.$

Auf der Abb.2.40 sind die Übergangsvorgängerkurven für die Laufkatze bei der Optimalsteuerung dargestellt.

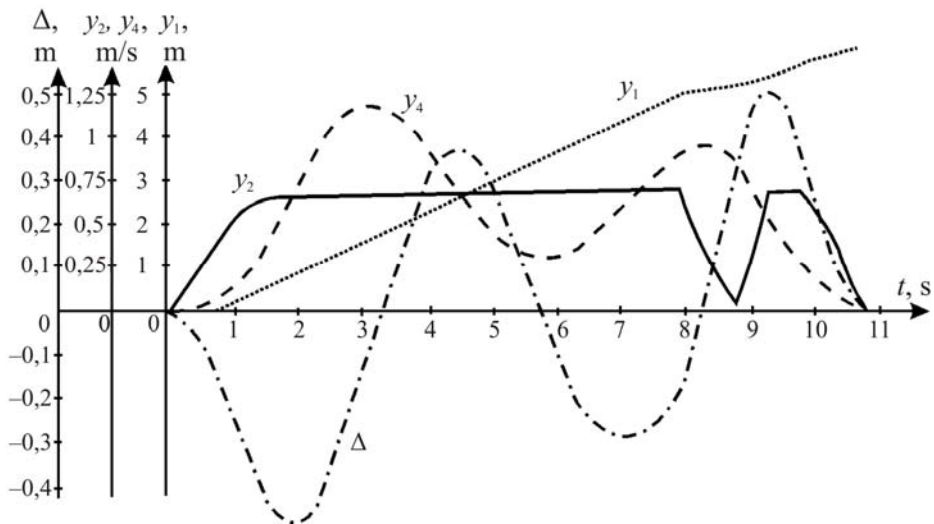


Abb. 2.40. Übergangsvorgängeschaubilder der Laufkatze

Die Brücke des Greiferkranes mit der Tragfähigkeit 3.2 t hat folgende Parameter:

$m_1 = 18500 \text{ kg};$
 $m_2 = 3200 \text{ kg};$
 $K = 13000 \text{ N};$
 $W = 2400 \text{ N};$
 $l_0 = 6 \text{ m};$
 $l_k = 8,8 \text{ m};$
 $v_0 = 2 \text{ m/s};$
 $v_h = 0,35 \text{ m/s};$
 $S = 18 \text{ m};$
 $e = 0,1.$

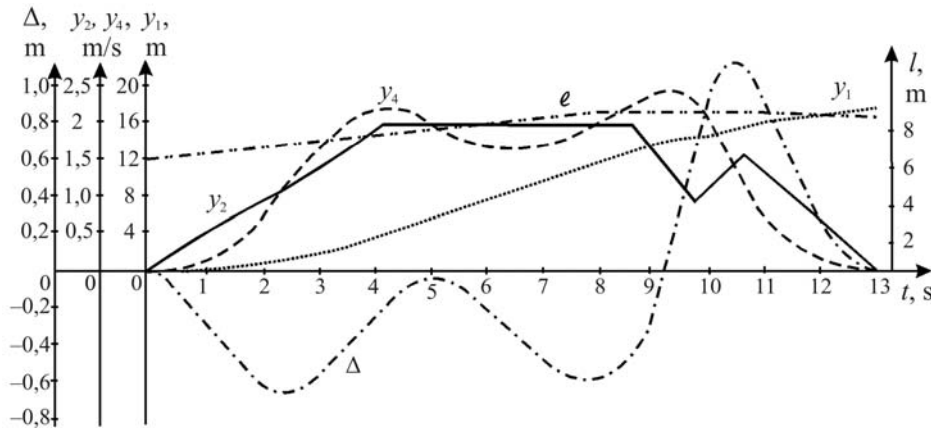


Abb. 2.41. Übergangsvorgängeschaubilder der Brücke

Auf der Abb. 2.41 sind die Übergangsvorgängeskurven für die Brücke bei der Optimalsteuerung dargestellt.

2.11. Теоретичні дослідження оптимального керування механізму повороту баштового крана.

Theoretische Untersuchungen der Optimalsteuerung des Drehmechanismus des Turmkranes

Betrachten wir das Drehmechanismus des Turmkranes als Zwei-Massen-System: Kran – Last (Abb. 2.42).

Die Aufgabestellung: es ist für mögliche minimale Zeit den Kran mit dem Last auf der

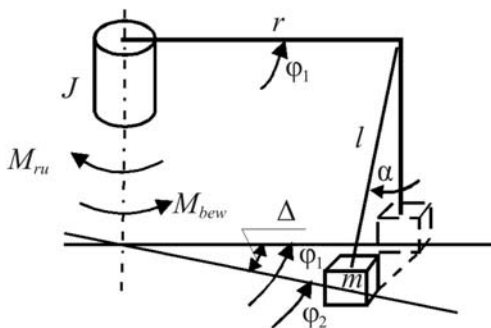


Abb. 2.42. Zweimassensystem: Kran, Last
die Differentialgleichungen [77] beschrieben:

vorgegebene Entfernung φ_0 zu verschieben, und zwar so, daß während der Beschleunigung,

der gleichmäßigen Bewegung und des Bremsens die Begrenzungen auf den Winkel α der Lastseilabweichung von der Vertikale erhalten sind und im Endpunkt des Bremsens schaukelt der Last nicht auf bei der Begrenzungen des Dreh-momentes (M_{bew}). Das Ausgangssystem wird durch

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + M_{ru} + \frac{m_1 g}{l} r^2 (\varphi_1 - \varphi_2) &= M_{bew}, \\ m_1 r^2 \ddot{\varphi}_2 - \frac{m_1 g}{l} r^2 (\varphi_1 - \varphi_2) &= 0, \end{aligned} \quad (2.77)$$

wo φ_1, φ_2 – Verschiebungen; $\ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_2$ – Beschleunigungen der entsprechenden Massen; m_1 – Lastmasse; l – die Länge des flexiblen Lastaufhängens; I_1 – summarischer, an die Drehachse angeführter, Trägheitsmoment des Elektromotors, des Turmes, des Auslegers; M_{ru} – statischer Widerstandsmoment dem Drehen.

Bei der Lösung der Aufgabe werden wir berücksichtigen, daß die Krangeschwindigkeit ist durch φ_1 begrenzt.

Die aufgestellte Aufgabe wird mittels der Methoden der Optimalsteuerungstheorie gelöst. Ferner werden wir die Untersuchungen durchzuführen in der Annahme, daß $I < mr^2$.

Die Mehrheit der zulässigen Steuerungen für das System (2.77) ist durch eine Gesamtheit der glatten Funktionen $c(\varphi_1(t) - \varphi_2(t)) = f(t)$ mit der Begrenzung $|f(t)| \leq M_{bew}$, wo $\varphi_1(t), \varphi_2(t)$, – irgendwelche Lösung des Systems (2.77) beim willkürlichen zulässigen Wert M_{bew} . Um weitere Untersuchung durchzuführen, erweitern wir diese Mehrheit bis zu Klasse aller stätigununterbrochene Funktionen bei der Erhaltung der Begrenzung, für die das Maximumprinzip von L.S. Pontrjagin [71] gültig ist. Die Steuerung M_{bew} für das System (2.77), die der schnelligkeitsoptimalen Lösung entspricht, wird innerhalb der erweiteren Funktionklasse zu finden. Dann wird sie mit der ausreichenden Genauigkeit durch eine reale Steuerung ersetzt und aufgrund der ersten Gleichung (2.77) das Steuerungsgesetz $M_{bew}(t)$ bestimmen wird, das die optimale Steuerung erfüllt.

Schreiben wir die Gleichungen (2.77) über, bei der Annahme, daß $\varphi_1 = y_1, \dot{\varphi}_1 = y_2, \varphi_2 = y_3, \dot{\varphi}_2 = y_4, y^T = (y_1, y_2, y_3, y_4)$

$$\begin{cases} y_1 = y_2; \\ \dot{y}_2 = -\frac{mr^2 g}{I \cdot l} y_1 + \frac{mr^2 g}{I \cdot l} y_3 + u; \\ \dot{y}_3 = y_4; \\ \dot{y}_4 = \frac{g}{l} - y_1 - \frac{g}{l} - y_3; \end{cases} \quad (2.78)$$

wo $u = \frac{M_{bew} - M_{ru} \text{sign} \dot{\varphi}_1}{I}$ – der Steuerparameter des Systems (2.78).

Das entsprechende gekoppelte System [71]:

$$\begin{cases} \dot{\eta}_1 = \frac{mr^2g}{I \cdot l} \eta_2 - \frac{g}{l} \eta_4; \\ \dot{\eta}_2 = -\eta_1; \\ \dot{\eta}_3 = -\frac{mr^2g}{I \cdot l} \eta_2 + \frac{g}{l} \eta_4; \\ \dot{\eta}_4 = -\eta_3; \end{cases} \quad (2.79)$$

Die Gesamtlösung des System (2.79) ist der angeführten im Abschnitt 2.3 ähnlich.

Setzen wir zuerst voraus, daß die Systembewegung ist unbegrenzt. Dann wird die Optimalsteuerung ein solches Aussehen haben: die Beschleunigungsstufe – Bewegung auf I_1 ; die Bremsenstufe – Bewegung auf I_2 ; der Übergang von I_1 auf I_2 , der unter Berücksichtigung des Treffens des Systems in den Koordinatenursprung des Ausgangsphasenraumes durchgeführt wird. Wenn war die Beschleunigungsgeschwindigkeit grob genug, so wird das Treffen von I_1 auf I_2 über irgendwelche Laufbahn *HFG* geschehen. Anderenfalls kann die Übergangslaufbahn ein Abschnitt mit $y_2 > 0$ – *MSP* enthalten. Bei der solchen Steuerungsart sind zwei Zeitpunkte zu bestimmen, die den Punkten $H(L)$ und $F(S)$ entsprechen. Sie kann man aufgrund der Bedingungen $y_1 = y_2 = \xi_1 = \xi_2 = 0$ im Endpunkt der Bewegung bestimmen mit Hilfe der vorgeschlagenen Steuerungsform $u(t)$.

Nehmen wir an, daß eine Begrenzung der Krangeschwindigkeit besteht:

$|y| \leq \dot{\phi}_1$. Dann, wenn im vorigen Fall diese Begrenzung ersetzt wurde, wird eine Bewegungsstufe mit der Nenngeschwindigkeit $y_2 = -\dot{\phi}_1$ (weil $x_0 > 0$) erscheinen. Aufgrund des Aussehens von $y_2(t)$ kann man die Steuerung finden, die solche Bewegung realisiert:

$$u(t) = -\frac{mr^2g}{I \cdot l} \left[(y_{03} - y_{01}) \cos \mu t + (y_{04} - y_{02}) \frac{\sin \mu t}{\mu} \right], \quad (2.80)$$

wo $\mu = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

Auf der Ebene ξ_1, ξ_2 entspricht dieser Steuerung die Bewegung des Phasenpunktes auf der Kreislinie mit dem Mittelpunkt im Punkt O , die durch den Punkt mit den Koordinaten $\xi_{01} = \lambda(y_{08} - y_{01})$; $\xi_2 = y_{02} - y_{04}$ läuft, mit der Winkelgeschwindigkeit μ , gegen den Uhrzeigersinn.

Bei dieser Begrenzung wird die Beschleunigung auf I_1 im Augenblick des Erreichens der Nenngeschwindigkeit beendet, nachdem bewegt sich das System unter Einwirkung der Steuerung (2.80) auf I_0 . Der Übergang zum Bremsen erscheint wie früher, jedoch während des Übergangsvorganges ist die Bewegung mit der Nenngeschwindigkeit möglich.

Werden wir jetzt auch die Begrenzung auf a oder bei der fixierter l auf $\Delta = y_3 - y_1$;

$|\Delta| \leq \Delta_0$. berücksichtigen. Wird x_0 ausreichend klein, so könnten die obengenannte Begrenzungen unwesentlich sein. Dabei wird die Aufgabe zu den schon erörterten Fällen zurückgeführt. Darüber hinaus werden solche Möglichkeiten im Weiteren nicht berücksichtigt.

Soll $\Delta_0 \leq \frac{M_{bew} - M_{ru}}{I\lambda^2}$ Dann wird die optimale Laufbahn mit dem Treffen auf die

Vielgestaltigkeit:

$$\begin{cases} y_1 - y_3 = -\Delta_0; \\ y_2 - y_4 = 0, \end{cases} \quad (2.81)$$

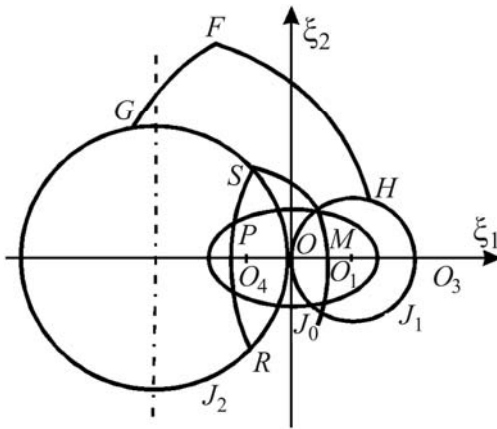


Abb. 2.43. Projektion der Phasentrajektorien des Systems bei Kranbewegung ohne α -Begrenzung

oder in den Punkt (Abb. 2.43) verbunden. Ferner wird die Bewegung in dieser Vielgestaltigkeit geschehen (d.h. bei der Bedingung, daß $\Delta = \Delta_0$).

Wenn wird auf dem Abschnitt CB die Nenngeschwindigkeit nicht erreicht, müssen die Projektion des optimalen Treffens in (2.81) durch die Bogen OB , BA dargestellt werden. Anderenfalls wird der Bewegungsabschnitt mit $y_2 = \dot{\phi}_1$ erscheinen und wird die Laufbahn ONN_1A optimal, wobei N – der Punkt des Erreichens der Krannennngeschwindigkeit.

Für die Bestimmung des Zeitpunktes t_1 , der der Umschaltung im Punkt $B(\xi_{1B}, \xi_{2B})$ entspricht, haben wir:

$$\begin{aligned} \left(\xi_{1B} + \frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda} \right)^2 + \xi_2^2 &= \left(\frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda} \right)^2 \text{ und } \left(\xi_{1B} + \frac{M_{ru} + M_{bew}}{I\lambda} \right)^2 + \xi_{2B}^2 = \left(\frac{M_{ru} + M_{bew}}{I\lambda} + \lambda\Delta_0 \right)^2; \\ \xi_{1B} &= \left[\left(\frac{M_{ru} + M_{bew}}{I\lambda} + \lambda\Delta_0 \right)^2 - \left(\frac{M_{ru} + M_{bew}}{I\lambda} \right)^2 \right] \frac{I\lambda}{4M_{bew}}; \\ \cos \lambda t_1 &= \frac{\frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda} - \xi_{1B}}{\frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda}}. \end{aligned}$$

Für den Zeitpunkt $t_1 + t_2$ des Treffens in den Punkt A werden wir finden:

$$\cos \lambda t_2 = \frac{\frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda} - \xi_{1B}}{\frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda} + \lambda \Delta_0}.$$

Aus der Gleichung $y_3(t) - y_1(t_1) = \Delta_0$ kann man die Steuerung für die Bewegung in (2.81) finden:

$$u = -\Delta_0 \lambda^2.$$

Gemäß der Annahme, das ist eine zulässige Steuerung. Aus der Gleichung $y_2(t_1 + t_2 + t_3) = -\dot{\phi}_1$ kann man den Zeitpunkt $t_1 + t_2 + t_3$ finden, wann wird der Kran die Nenn-geschwindigkeit erreichen.

Soll jetzt $\Delta_0 > \frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda}$ (Abb. 2.44), O_1 – der Punkt innerhalb des Bereiches der zulässigen Koordinaten. Dabei, um die Grenze $\xi_1 = \lambda \Delta_0$ nicht überschreiten, soll man von der Kreislinie I_1 auf irgendwelche Kreislinie I mit dem Radius r übergehen:

$$\lambda \Delta_0 - \frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda} \leq r < \frac{M_{ru} - M_{bew}}{I\lambda}.$$

Dabei ist die Art der Steuerung stark mit den Werten x_0 , $\dot{\phi}_1$ verbunden. Aufgrund des Maximumprinzips von L.S. Pontrjagin können alle mögliche Bewegungsvarianten beschreibt werden und durch die Sortierung kann man die beste auswählen. Ist jedoch $\dot{\phi}_1$ grob genug, so geschieht der Übergang von I_1 auf I_2 auf dem kürzesten Bogen, der diese Kreislinien verbindet.

Die Koordinaten von allen genannten Punkte der Steuerungumschaltung kann man aufgrund der Bewegungsgeometrie finden. Dann nach der Geschwindigkeit der Phasen-punktbewegung auf den Kreislinien kann man leicht die entsprechenden Zeitpunkte bestimmen.

Nach der Beendigung der Beschleunigung ist die Kranbewegung mit der Nenn-geschwindigkeit möglich unter der Wirkung der Steuerung (2.80). Bei $I < mr^2$ wird sie offensichtlich zulässig und wird Begrenzung $|\Delta| \leq \Delta_0$ bei solcher Bewegung nicht verletzt.

Danach kann man das Gesetz der optimalen Kranbremsung mit Berücksichtigung obergenannten Begrenzungen bauen. Ihre Anwesenheit führt zu Möglichkeit der Erscheinung von Zwischenbremsung in Mannig-faltigkeit.

$$y_3 - y_1 = -\Delta_0, y_2 - y_4 = 0, \quad (2.82)$$

bei $\Delta_0 \leq \frac{M_{bew} + M_{ru}}{\lambda^2 I}$ oder auf einigem Bogen des Kreises bei

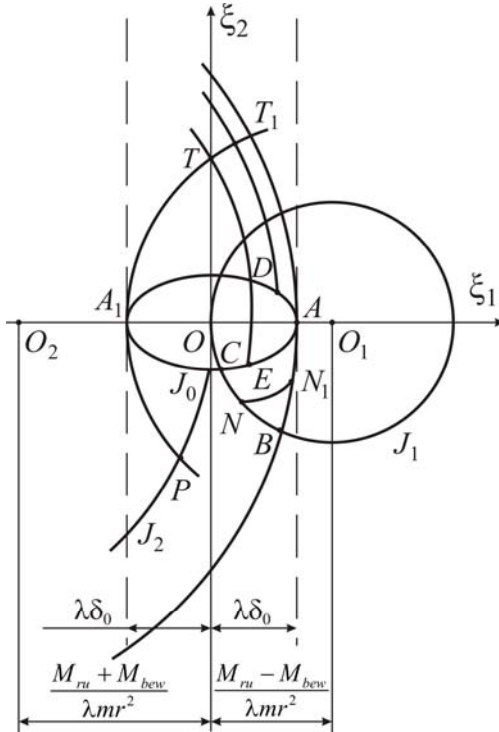


Abb. 2.44. Projektion der Phasentrajektorien des

$$\text{Systems bei } \Delta_0 \leq \frac{M_{bew} - M_{ru}}{\lambda m r^2}$$

bewegen, solange das oberbeschriebene Gesetz der Bremsung das System in den Koordinatenanfang führt. Wie früher alle Schaltenmomente werden mit Benutzung der Bewegungsgeometrie und Bedingungen gefunden, die auf diese Bewegung gelegt werden.

In solcher Weise bekamen wir optimale nach Schnellwirkung oder genug nah ihr Steuerfunktion $U(t)$. Sie ist abschnittsweise ununterbrochen und ist real zulässige Steuerung in jeder Intervalle der Kontinuität. Die Möglichkeiten des Hydroantriebes erlauben mit hinreichendem Grad der Genauigkeit ihn in der Praxis zu verwirklichen [77]. Danach kann man aus der ersten Gleichung des Systems (2.77) $M_{bew}(t)$ finden, das das Gesetz der optimalen nach Schnellwirkung Steuerung des Hydroantriebes gibt.

$$\Delta_0 > \frac{M_{bew} + M_{ru}}{\lambda^2 I}.$$

Im ersten Fall hal die optimale Bahn der Bremsung die Ansicht ETA_1A_1PO (Abb. 2.43), wo A_1A_1 die Bewegungsstrecke in (2.82). Für den zweiten Gesetz der Bremsung kann man auch im analogen Fall beim Anfahren suchen. Bei dem Bau der Bremsesteuerung nach der Bewegung nach I_0 kann man geschehen, daß auf dem Abschnitt T_1A_1 die Geschwindigkeit des Kranes seine nominale Geschwindigkeit erhöht. Solche Punkte der Anfangsbremsung auf I_0 werden sein; der Bogen DA_1 (Abb. 2.44) wenn I_0 die Grenzen $|E_1| = \lambda \Delta_0$ berührt und der Bogen DD_1 im Gegenfall, wo D_1 zwischen D und A_1 liegt.

In solcher Situation, um den Koordinatenanfang des Phasenraumes zu treffen, muß man aus D und A_1 treffen, und dann wieder mit Nominalgeschwindigkeit bisher sich

2.12. Точність зупинки основних механізмів крана. Genauigkeit der Stillsetzung von Grundkranvorrichtungen

Die Frage der Genauigkeit der Stillsetzung von Kranvorrichtungen ist besonders. Die Forderungen nach der Genauigkeit der Stillsetzung von Grundkranvorrichtungen sind in der Tafel 2.1 angegeben.

Tafel 2.1

Benennung des Kranes	Fehler, mm			Bemerkung
	Benennung der Vorrichtung			
	Hebung	Katze	Maßstab	
1. Aufhängig, Gestell	1,0	1,0	Last-Greifer-Vorrichtung 0,1	Aufgestellte im Raum der Lager, z.B. der Radioteile in Radioindustrie
2. Selbstfahrend	2,0	2,0	2,0	
3.	5,0	5,0	5,0	Bedienung der Elektrolytbäder
4.Brückenbeschickungs	10,0	5,0	5,0	Für Montage der Kokillebestandteile vom Gießereibetrieb
5. Stapler	10,0	10,0	10,0	
6. Bock-, Brücken-, Container	30,0	30,0	30,0	
7. Anlege Greifer-Bunkerumlader	30,0	25,0	30,0	
8. Brücken 2- und 3-katzig	30,0	25,0	30,0	

Bei Ausarbeitung Forderungen nach Kranen und Kranenantrieben mit angegebener Genauigkeit der Stillsetzung muß man sich nach folgenden Thesen richten:

- Auswahl des Regelungsbereiches der Geschwindigkeit (Arbeits- und Lenken auf das Ziel) ist mit vorgegebenem Fehler der genauen Stillsetzung von Kranvorrichtungen ΔS verbunden, der mit der Veränderung der Größen F_c , $F_{\dot{n}}$, m , S in der komplizierten Weise bestimmt wird. Außerdem bei der Berechnung ΔS nimmt man an;
- die Stahlkonstruktion ist ganz starr, obwohl in Wirklichkeit ist sie in horizontal Fläche elastisch;
- Motorkennziffer entsprechen den Katalogdaten, obwohl in Wirklichkeit sind sie verschieden.

Im Zusammenhang damit muß man den Einfluß auf die Genauigkeit der Kranstillsetzung der obergenannten Faktoren bewerten. Außerdem für die Vorrichtungen der hohen und neuesten Genauigkeit der Stillsetzung (Taf. 2.2) muß man den mittel-statischen Fehler der genauen Stillsetzung $\Delta \Delta S$ berücksichtigen, den mit der Nichtstabilität des Ansprechens in Zeit der Vorrichtungen des Steuerblockes herausgerufen ist (z.B. Ansprechenszeit der Relais, mechanischen Bremsen, Veränderungen in Zeit der Motorkenn-

ziffer, verschiedene Fehler in Arbeit der Software von Mikroprozessoren bei verschiedenen Arbeiten der Operateuren - Kranmaschinisten u.a.)

Tafel 2.2

№, n/o	Typ der Kranvorrichtung nach Genauigkeiten der Stillsetzung	Fehler der Stillsetzung, mm
1	Präzisionsvorrichtungen von Lastgreifen	0,1÷0,2
2	Vorrichtungen der ultrahohen Genauigkeit	0,5÷2,0
3	Vorrichtungen der hohen Genauigkeit	2,0÷3,0
4	Vorrichtungen der erhöhter Genauigkeit	5,0÷10,0
5	Vorrichtungen der Mittelgenauigkeit	25,0÷50,0
6	Vorrichtungen der niedriger Genauigkeit	100,0÷200,0

Die Ordnung der Berechnung des Fehlers von genauer Stillsetzung ist folgende.

Im gemeinsamen Fall der Bewegungsprozeß vor der genauen Stillsetzung des Kranes unter Steuerung des Mikrorechners kann man in vier Stufen unterteilen:

1. Bewegung des Kranes mit nominalen Geschwindigkeit vom Moment der Lösungsnahme über die Stillsetzung:

- vom Geber, der über Notwendigkeit der Stillsetzung signalisiert (z.b. der Geber für Induzieren auf Ziel und Erfassen des Zieles in Systemen der optimalen Steuerung von metallurgischen Brückenkränen für Montage der Kokillebestandteile des Gießereibetriebes mit Rückkopplung über Genauigkeit der Stillsetzung);

- nach dem Befehl des Kranmaschinisten-Operateur, der das Moment und die Stelle der Stillsetzung bei der Arbeit Mikroprozessorsystems der optimalen Steuerung in der Betriebsweise "Unterstützung" ("підтримка") für Dämpfen von Lastschwankungen, Schwankungsbegrenzung, für Begrenzung der zulässigen Bewegungsbahn "nach Augenmaß" bestimmt u.s.w.;

- nach dem Befehl des Mikrorechners bei der Berechnung der Schaltenmomente für die Organisation der optimalen Steuerung u.s.w. bis Moment des Impulseingehens auf Abschalten der Apparatur.

2. Bewegungen vom Moment des Eingehens vom Ausschlagsimpuls bis den Anfang des Ansprechens der Elektroapparatur.

3. Bremsung nach dem Motorausschlag bis die Stellung der mechanischen oder elektrischen Bremse (freier Auslauf).

4. Bremsung nach Wirkung der Widerstandsstärken der Bremse bis volle Stillsetzung.

Jetzt erfüllen wir theoretische Annäherungsberechnung des Fehlers der genauen Stillsetzung für diese vier Stufen, ohne Erfassung des Einflusses der Stahlkonstruktion-selastizität und des Unterschiedes der Motorkennziffern von Katalogdaten.

Die erste Stufe ist mit der Zeit der Impulserzeugung für Ausschalten der Elektro-

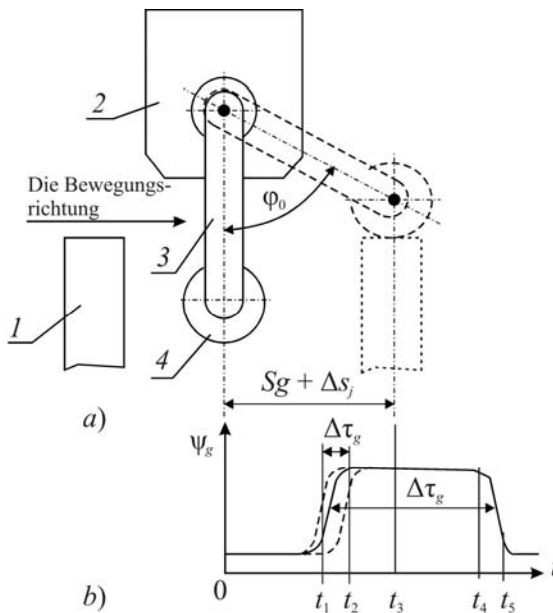


Abb. 2.45. Endschalter Typ WP-15D

apparat t_{aus} , d.h. mit der Ansprechzeit des Gebers der genauen Einstellung (Induzieren auf Ziel und Erfassen des Zieles) $- t_g + \Delta t_g$ bestimmt, wo Δt_g – die Streuung t_g – die mit der Instabilität des Geberansprechens bei Erzeugung vom Ansprechsimpuls z.B. mit der Instabilität ΔS_g (Abb. 2.45) bestimmt. Im Bild ist der Endschalter Types WP-15D – als einfachster Geber der Rückkopplung für die Illustration des Einflusses dessen Ansprechens auf einen Fehler der genauen Stillsetzung angegeben. In wirklichen Kransystemen, z.B. im metallurgischen Brückenkran für die Montage der Kokillenbestandteile des Gießereibetriebes (KCCU) als Geber der Rückkopplung

für Induzieren auf Ziel und Erfassen des Zieles ist eine komplizierte Elektro-einrichtung, die einen Infrarotübergeber und Empfänger, sowie eine elektronische Vergleichsvorrichtung hat, angewendet.

Im Abb. 2.45 ist angegeben; 1 – Kontaktplatten für Ansprechen eines Endschalters, die auf dem Bewegungsmechanismus festgestellt sind, und umgekehrt, der Geber ist auf dem Bewegungsmechanismus festgestellt, und Kontaktplatten sind auf dem Weg zum Ziel und dienen als Mittel für Induzieren auf Ziel Erfassen des Zieles. Der Mikrorechner zählt Kontaktplatten oder speichert die laufende Nummer jeder Platte. 2 – Endschalter, 3 – Bewegungsstange der Gebers, 4 – Kontakträdchen, Ψ_g – Signalswert, das der Geber δ erzeugt, t_1 – Zeitperiode der Geberkontakte, $t_1 - t_2$ – Zeitperiode des Schließens der Geberkontakte, Δt_g – die Größe des Flankenzunehmens: $(t_1, t_2 + t_2 - t_3)$ – Zeitperiode des Festhaltens geschlossener Geberkontakte bei der Ablenkung der Stange 3: $(t_3 - t_4)$ – Periode des wirklichen Ansprechens des Systemes Ψ_g , das mit der Elektronenschema bildet, wird den Impuls für die Erzeugung der nötigen Δt_g Dauer des Impulsansprechens des Gebers formiert.

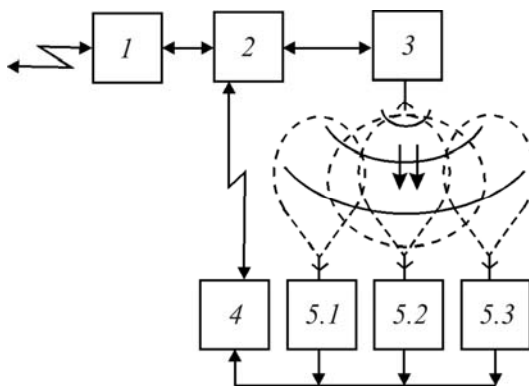


Abb. 2.46. Verallgemeinerte Strukturschema einer Mikro-EDV-Anlage eines Hüttenkranes für Kokilleaufbereitung

Im Abb. 2.46 wird angegeben; 1 – Digitalsteuerschalter (Mikroprozessor-Steuerschalter), der die Arbeit des Gebers für Induzieren auf Ziel und Erfassen des Zieles organisiert. Die Übergabe der Information in der Bordmikrorechner als bitnacheinander binäre Kode nach dem Protokoll IRPS, als Umwandlung von Phasengrößen der Entfernung in normalen binären Kode usw., 2 – Vergleichsvorrichtung der übergebenen und übernommenen Signale, 3 – Sender der Infrarotabstrahlung (UK) mit "breitem" Diagramm der Richtwirkung, 5.1, 5.2, 5.3 – Empfänger der Infrarotabstrahlung mit "engem" Diagramm der Richtwirkung, 4 – Phasenwandler und Umschalter.

Bei der Bewegung mit nominaler Geschwindigkeit Δ_m :

$$t_g = (t_3 - t_1) \pm \Delta t_g \pm k(t_2 - t_1) < \tau_g; \quad (2.77)$$

$$\Delta S_g = V_{nom} t_3; \quad (2.78)$$

$$\Delta S'_g = V_{nom} \tau_g \quad (2.79)$$

Die Formeln (2.77), (2.78), (2.79) kann man nicht überall anwenden, doch bei bestimmter Konstruktion des Gebers und bei der Erzeugung des Signals $\Psi_g(t_g)$. Dabei in (2.77) zeigt die Größe k die Qualität des Kontaktansprechens des Gebers und der Grad der Erzeugung der Impulsflanke Ψ_g vom Erzeuger, und auch die Vorrichtungen für die Eingabe des Signals Ψ_g in einen Mikrorechner. Die Größe Δt_g wird experimentell untersucht und als sein gesuchtes quadratisches Mittel eingenommen oder annähernd nach Formeln ausgerechnet.

In solcher Weise

$$t_g = (t_0^{01} + t_0^{10}) + (t_3 - t_1), \quad (2.80)$$

Δt_g – bestimmen für den konkreten Geber experimentell.

Der Fehler der Genauigkeit der Stillsetzung:

$$\Delta S_g^k = V_{nom} (t'_g \pm \Delta t_g); \quad (2.81)$$

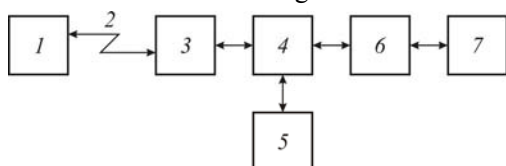
$$\Delta S_g^k = \Delta V_{nom} (t'_g \pm \Delta t_g). \quad (2.82)$$

Davon folgt, daß für Erhöhen der Genauigkeit der Stillsetzung und Verminderung der mittleren Bremsstrecke sind folgende Maßnahmen nötig; Vergrößerung der Steifigkeit der mechanischen Kennziffer kleiner Geschwindigkeit, Ausnutzung der Erzeuger der Klasse Triggers Schmidt für Vergrößerung der Flankensteilheit Ψ_g , Ausnutzung der Differentialketten in Erzeuger für Verminderung $\tau_g < t_g$, Erhöhung der Störsicherheit von Übertragungsleitungen mit Geber, seinem Steuerschalter und Erzeuger mit Absicht der Ausnahme des unrichtigen Ansprechens, Anwendung Elektronengeber mechanischer Klasse, wo kann man $\Delta t_g = 0$ bekommen. Zu bestimmen Genauigkeit der Stillsetzung der Kranvorrichtung nach dem Befehl eines Operators-Kranführers bei der Handsteuerung, wie Regel, hatte es keine Notwendigkeit, da; 1 Ein erfahrener Kranführer, erratend das Ausschaltensmoment der Elektroapparatur in Anbetracht eines Komplexfehlers "seines" Kranes und der Genauigkeit des Zielerfassens, gibt einen Impuls für Ausschalten der Apparatur (Hebeldrehung). 2. Bei einem unerfahrenen Kranführer bei Zielerfassen übersteigt sein eigener Fehler, wie Regel, einen Fehler der Kranmechanismen wesentlich. Doch die Arbeit erfahrener Kranführer auf nichtautomatisierten Kranen zeigte: 1) Für die Verminderung des Fehlers von Menschen bei der Einstellung des Kranes auf Ziel sind Spezialmittel nötig. Wie es oben erwähnt nannten wir wurde oben, Anwendung der Induktionsgeschwindigkeit mit Verhältnis 10:1 – 20:1, höhere von mechanischen Kennziffern, Anwendung von Speziellelektroantrieben, ergonomisches Steuerungspult des Kranführers, Anwendung von Spezialmitteln; z. B. Hydrokupplung u.s.w. Dabei eine ähnliche Aufgabe wurde in jedem Fall der Krananwendung mit genauer Stillsetzung gelöst, da die Anwendung von Spezialmitteln, z.B. Hydrokupplung, sowohl zu positiven, als auch zu negativen Ergebnissen führtvergrößerten die Stufenlosigkeit der Abwärtsbewegung und der Stillsetzung der Anlage, aber wurde "das Fühlen" der Anlage vom Menschen scharf kompliziert. 2) Die Ausnutzung der Berechnungsmethodik der genauen Stillsetzung des Kranes für die zweite, dritte, vierte Stufe vom Bewegungsprozeß wird Anforderungen der Fehlerberechnung wie für automatische Steuerung nach Wirkung eines Mikrorechners, Mikroprozessorkontrollers oder einer starren Anlage der Diskrettechnik, als auch nach Wirkung eines Menschen gerechtfertigt für Moment der Erzeugung Ψ_g – Impuls der Moment der Griffsdrehung zu gelten. In solcher Weise, alle Maßnahmen der zweiten, dritten, vierten Stufe werden dem Handarbeitsregime gerecht. Aber bei der Arbeit der Krananlage im Handarbeitsregime vom Operator-Kranführer mit "Unterstützung" von einem Mikrorechner wird eine neue Qualität eingeführt- die Möglichkeit vom Ausschalten der Elektroapparatur wie unter Wirkung eines Menschen-Operateur, als auch unter Wirkung eines Mikrorechners. Das bedeutet, daß bei der Annäherung zum Ziel der Stillsetzung muß man der Vorrang vom Ausschalten der Elektroapparatur von einem Menschen und Mikrorechner genau vorgeben, daß, z.B. den Mikrorechner auf das Ziel induziert und den Impuls vom Ausschalten erzeugt, wenn ein Operator-Kranführer solchen Impuls nicht erzeugt. Dabei zur zweiten, dritten, vierten Stufe der Fehlerberechnung der genauen Stillsetzung wird die erste Stufe bei der

Stillsetzung mit Hilfe des Gebers der Rückkopplung der genauen Stillsetzung ergänzt, wie oben gesagt, oder nach dem Befehl des Mikrorechners, der mit Hilfe der Berechnung der Zeitmomenten vom Apparaturausschalten, wie unten gesagt wird.

Die Bestimmung der Genauigkeit der Stillsetzung der Krananlage nach dem Befehl des Mikrorechners bei der Berechnung des Momentes vom Impulsinduzieren auf einem Ausschlag der Apparatur stellt für eine Reihe von Fällen eine bedeutende Kompliziertheit vor, für andere Reihe von Fällen- wird automatisch vom Microrechner selbst berücksichtigt und trägt keinen Fehler herein.

Im Bild 2.47 ist die gesamte Strukturschaltung des Mikrorechners angezeigt, wo:



- 1 – Geber der genauen Stillsetzung;
- 2 – Fernmeldeleitung;
- 3 – Eingabe- und Umwandlungseinrichtung der Gebersymbole;
- 4 – Zentraleinheit des Mikrorechners;
- 5 – operative Speicher;
- 6 – Ausgabeeinrichtung der Diskretsignale für Steuerung von Antrieben der Krananlagen;
- 7 – Einschalten- und Ausschaltenelektroapparatur des Elektroantriebes.

Abb. 2.47. Verallgemeinerte Strukturschema eine Mikro-EDV-Anlage, die genaueres Stillstand gewährleistet

Die Zeitperiode für den Empfang der Signale Ψ_g vom Geber nach der Übertragungsleitung 2 und danach in den Register der Abfrage der Angaben durch einen Prozessor in der Eingabeeinrichtung und Einschreiben, die Übergabe des Abweichungsimpulses vom Angabenregister der Ausgabeeinrichtungen 6 in die Elektroapparatureinheit trägt einen stetigen Charakter, hat die Bedeutung etwa 1-100 μ s und kann durch die Anlage des Gebers 1 von einem Ziel und auf der Entfernung auf Rücksicht genommen werden:

$$\Delta S_n = t_p \cdot V_{nom};$$

$$t_p = t_{33} + \gamma t_{32} + t_{36} + t_{37} + T_{no}, \quad (2.83)$$

wo t_{33} – Zeit des Einschreibens der Angabenumwandlung in der Eingabeeinrichtung 3; t_{32} – Zeit der Einfachübertragung von Angaben nach der Übertragungsleitung 2 von Geber 1 zur Eingabeeinrichtung 3; t_{36} – Zeit des Einschreibens von Angaben in den Register der Ausgabeeinrichtung von Diskretsymbolen 6; t_{37} – Zeit der Signalübertragung von der Ausgabeeinrichtung 6 in die Elektroapparatur für das Ein- und Ausschalten des Antriebes; γ – Faktor der Richtigkeit des Angabenempfanges, $\gamma = 1, 2, 3$, bei dem nochmaligen Angabenempfang mit Kontrolle nach paar und unpaar entsprechend dem Protokoll IRPS bei einfachsten Übertragungsleitungen, wenn Geber ein Endschalter Typ WP-15D ist, und Übertragungsleitung – eine Zweidrahtleitung mit dem Protokoll des Austausches Typ Relais "ja – nein", und Eingabeeinrichtung 3 – Eingabeeinrichtung von Diskretsignalen, so $\gamma = 1$,

und $t_{32} = 0$; T_{no} – Arbeitszeit der angewandten und Systemsoftware für den Angabenempfang, die Angabenbearbeitung, die Erzeugung vom Ausschaltenimpuls, die Ausgabe der Serviceinformation auf den Monitor zum Operateur-Kranführer bis die Erzeugung des Abweichungsmomentes:

$$T_{no} = t_{bb} + t_{bub} + t_{cp} + t_p, \quad (2.84)$$

wo t_{bb} – Arbeitszeit des angewandten Programmes für die Eingabe und Bearbeitung von Angaben im operativen Speicher 5, aus der Einrichtung 3 mittels Prozessor 4, die Größe t_{bb} hängt vom Typ des angewandten Mikrorechners ab; seinen Befehlssystemen, der Zeit des Prozessor- und Mikroprozessorzykluses, der Schnellwirkung des Speichers und der Programmarbeitsweise des Mikrorechners (nach dem Signal "Bereitschaft" der Eingabeeinrichtung oder nach dem Signal "Abfrage der Unterbrechung"), der Schnellwirkung des Bearbeitungssystems der Mikrorechnersunterbrechung; t_{bub} – Arbeitszeit des angewandten Programmes für Ausgang des Ausschaltungssignals zur Ausgabeeinrichtung 6 mit Kennziffern, analogen t_{bb} ; t_{cp} – Erfüllungszeit des angewandten Programmes der Ausgabe der technologischen Information auf die Monitorschirm. Die Größe dieser Zeitperiode ist bedeutend und kann 1–2 s erreichen, also muß man nach Möglichkeit die Notwendigkeit der Informationsausgabe zum Operateur-Kranführer in der Technologie bis Moment der Erzeugung des Abweichungsimpulses ausschließen; t_p – Erfüllungszeit des angewandten Programmes der Momentberechnung des Abweichungsimpulses.

Dabei t_p hat den zweifachen Charakter:

1. Wenn der Mikrorechner keine komplizierten Berechnungen verwirklicht, die einen unregelmäßigen Charakter der Zeit der Programmarbeit haben, z.B. die Stillsetzung der Krananlage nach dem Signal vom Geber. In diesem Fall wird t_p ebenso wie t_{bb} , t_{bub} bestimmt und außerdem dient für die Berücksichtigung aller Zeiten der Signalverzögerung und Signalverarbeitung vom Geber bis die Stelleinrichtung des Antriebes mit dem Ziel des Korrigierens der Montagestelle eines Gebers mit Rückkopplung in einiger Entfernung vom Ziel.

2. Wenn der Mikrorechner komplizierte Berechnungen verwirklicht, die einen unregelmäßigen Charakter der Zeit der Programmarbeit haben, z. B. die Erfüllung des Begleitprogramms für Dämpfung von Lastschwankungen im Prozeß oder am Bewegungsende u.s.w. In diesem Fall t_p wird des statistisches Mittel bestimmt, die Streuung Δt_p wird mit der Qualität und der Möglichkeit des Aufschreibens des Begleitprogrammes von einem Ausarbeiter – Programmisten bestimmt.

Dabei: $t_{berechn} = a t_{berechn}$, wo a – der Faktor, der den Wert von Anteilen t_p bis Einheiten und Zehner $t_{berechn}$.

Für die primäre Ausarbeitung des Steuerungssystems bis seine Aufbewahrung und der Bestimmung $t_{berechn}$, $\Delta t_{berechn}$ wird experimentell bestimmt. Den Wert $\Delta t_{berechn}$ kann man bei der Zusammenstellung des Programms von Weißmark der Mikroprozessorarbeit während des Modellierens der Aufgabe der Dämpfung von Schwankungen auf Mikrorechner, mit Genauigkeit bis die Ordnung bekommen.

In solcher Weise wird die Genauigkeit der Anlage berechnet:

$$\Delta S_p^k - V_{nom} (t_{33} + \gamma t_{32} + t_{36} + t_{37} + T_{bub} + t_{bub} + t_{cp}) +$$

$$+ V_{nom} (a+1) t_p = V_{nom} [t_{all} + \gamma t_{32} (a+1) t_p]$$

(2.85)

$$\Delta S_p^k - V_{nom} [t_{all} + \gamma t_{32} (a+1) t_p]$$

(2.86)

Die zweite Stufe der Bremsung. Während der Zeit t_a , die mit der Summe des Eigenansprechens der Elektroapparatur bedingt wird, setzt die Vorrichtungsbewegung bis die Abweichung des Elektromotors fort. Dann

$$\Delta S_2 - V_{nom} (t_a + \Delta t_a)$$

(2.87)

$$\Delta \Delta S_2 - V_{nom} (t_a + \Delta t_a)$$

(2.88)

wo Δt_a – die Streuung, die mit der Unbeständigkeit des Ansprechens vom Relaiskontakten bedingt wird.

Im Moment des Eintrittes des Ausschaltungsimpulses verändert die Veränderung der statischen Widerstandskraft F_c infolge der geringen Größe β die Geschwindigkeit der Motor-drehung.

Aufschreiben $V = V_0 + at$. Das Differenzial des Weges gleich:

$$dS = Vdt + atdt.$$

Der gesuchte Weg wird mit dem Integral ausgedrückt:

$$s_2 = v \int_0^{t_a} dt + a \int_0^{t_a} t dt.$$

$$\text{Oder in Anbetracht } \pm \Delta F_c, S_2 = V t_a \pm \frac{a t_a^2}{2}.$$

Maximal und minimal Wege werden bei der größeren Zeit Ausregelungssignals – $t_{a \max}$

$$S_{2\max} = Vt_a \pm \frac{at_{a\max}^2}{2};$$

$$S_{2\min} > 0.$$

Bei verhältnismäßig großen Steifigkeit der mechanischen Charakteristik

$$\Delta S_2 = V\Delta t_a. \quad (2.89)$$

In der gesamten Gestalt hat die Zweite Stufe nach dem Signal auf genaue Stillsetzung die Art

$$\Delta S_2 = V\Delta t_{a0} (K_v - K_t), \quad (2.90)$$

wo $K_t = \left(1 - \frac{t_{a\min}}{t_{a\max}}\right) / \left(1 + \frac{t_{a\min}}{t_{a\max}}\right)$ der Faktor der verhältnismäßig Veränderung von Mittelgeschwindigkeit; $K_v = \left(1 - \frac{V_{\min}}{V_{\max}}\right) / \left(1 + \frac{V_{\min}}{V_{\max}}\right)$ der Mittelweg bis Ausschalten,

$$\Delta S_{02} = Vt_{a0} (1 + K_v K_t), \Delta S_2 = Vt_{a0} (K_v + K_{ta}). \quad (2.91)$$

Aus (14), (15)

$$\Delta S_2 = \Delta S_{02} \frac{K_v + K_t}{1 + K_v K_{ta}}. \quad (2.92)$$

Davon folgt, daß für Erhöhung der Genauigkeit der Stillsetzung und Verkürzung der Mittelbremsstrecke die Vergrößerung der Steifigkeit der mechanischen Charakteristik der kleinen Geschwindigkeit, Ausnutzung schnellwirkender Apparate, Verkürzung der Zahl nacheinander wirkender Apparate nötig sind.

Die Kontrollfragen 2

1. Welche Aufnahmen gibt es bei der Zusammensetzung des mathematischen Modells vom System "Laufkatze – Last auf das flexible Aufhängen".
2. Formulieren Sie bitte das Prinzip des Maximums?

3. Wie wird die Etappe der Beschleunigung auf die Phasenebene der gleichförmigen Bewegung und Bremsen der Laufkatze beschreibt?
4. Wie berechnet man die Zeitdauer der Teilbewegung von der Laufkatze bei der Benutzung der Methode der Phasenebene?
5. Welche Aufnahmen gibt es bei der Zusammensetzung des mathematischen Modells vom Drehkran mit dem Last auf das flexible Aufhängen?

3. МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ ПІДІЙМАЛЬНИХ МАШИН. MIKROPROZESSORSYSTEMEN DER HEBEMASCHINEN

Auswahl der Schemenbauarten ist von den Förderungen an die Einrichtung für den Aufbau der MS OKS (Mikroprozessorsystemen für optimale Kransteuerung) abhängig.

Die Förderungen an die Kransteuerungseinrichtung sind:

- Einfachheit der MS und geringe Kosten;
- Möglichkeit der Kranbordeinstellung;
- hohe Prozessorleistung, die die optimale Steuerung in Real-Time-Modus ermöglicht.

In den GUS-Staaten gibt es keine Einrichtung, die den obengenannten drei Förderungen gleichzeitig entspricht. Darum bestimmt man die Architektur der MS für jede konkrete Krangruppe. Das heißt: Berücksichtigung der Kranbauweise; Berücksichtigung der Arbeitsvorgänge; Berücksichtigung der Funktionsaufgaben des MS OKS auf diesem Kran.

Höchstgeeignete Inlandseinrichtungen sind:

- programmierbare Steuerschalter MKP-1, MPA, PK "MikroDAT";
- KTS LIUS 2 (Komplex der technischen Mitteln für lokalen Informationsnetzen – 2. Modell auf dem Basis der 580-Familie-Mikroschaltungen) und MikroDAT (mikroprozessorsische Mitteln für Dispatcherisation, Automatisierung und Fernmechanik);
- Mikromitteln "Elektronika MS".

3.1. Керування за допомогою програмованого мікрокомп'ютера МКП-1-48-2.

Steuerung mittels programmierbare Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2

Für automatische Steuerung einigen Hebezeug- und Fördermaschinen war programmierbare Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 gewählt.

Seine Vorteile sind:

- relativ geringe Kosten bei ausreichende Rechenleistung und andere technische Parametern, die für allgemeine Kransteuerungsaufgaben ausreichend sind;
- dieser Mikrosteuerschalter produziert man serienmäßig und findet häufig Industrieanwendung;
- der Mikrosteuerschalter ist einfach, reparaturgeeignet und relativ zuverlässig;
- der Mikrosteuerschalter lässt die Vielfachsteuerungssystemen aufbauen dank Interface mit Großrechner;
- der Mikrosteuerschalter besitzt eine einfache und zugängliche Einheit für logische Programmierung.

Ferner werden es einige Anwendungsbeispiele der Kransteuerung mittels Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 betrachten.

3.1.1. Керування електричною таллю вантажопідйомністю 0,5 т. Die Steuerung der Elektroflaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t

Für Mikroprozessorsteuerung der Elektroflaschenzug war Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 (MKP) angewendet. Er lässt die Flaschenzugsmechanismen zu steuern (Heben und Senken der Last, Laufkatzenbewegung) gleichzeitig mit Minimisierung der Zyklusdauer und Schwingungsdämpfung in einem vorgegebenen Punkt. Dieser Punkt kann in jedem Zyklus verschiedene Koordinaten haben.

Technische Daten des Elektroflaschenzuges:

- Tragfähigkeit 0,5 t;
- Förderhöhe bis 12 m;
- Fördergeschwindigkeit 0,2 m/s;
- Verschiebungsgeschwindigkeit 0,3 m/s;
- Elektromotoren asynchrone, mit kurzgeschlossenem Rotor, Fördermotor:

$$N = 0,25 \text{ kW}, n = 1400 \text{ min}^{-1},$$

Verschiebungsmotor:

$$N = 0,08 \text{ kW}, n = 1450 \text{ min}^{-1}$$

Als Kommutierungseinrichtung waren die Magnetanasser Typus PME genutzt.

MKP hat laufend die Laufkatzenlage und Lastseillänge kontrolliert. Dafür sind an die Eingangstromkreise des Steuerschalters entsprechende Gebern angeschlossen (Abb. 3.1). Als Wegebern dienen die Endschalter WK-2000. Kann man beliebige Schalter Typus "Trockenkontakt" ausnutzen. Als Lastseillängegeber war ein optoelektronischer Wegegeber Typus PDF-3 ausgenutzt. Die Geberwelle war mit Fördermotorwelle mittels einer Getriebe gekoppelt. An PDF-3-Ausgang, der ein Impuls pro Umdrehung ausgibt, ist durch A1 – Verstärker eine Relaispule K5 angeschlossen. Auf diese Art ansprechen die Relaiskontakte K5 impulsartig bei Lastaufhebung bei jeder Wellenumdrehung und schließen den entsprechenden Eingang des MKP. Als Geber des Seillängeablesungsrunges dient der Endschalter der Obenlage des Lastgreifers S21.

Die Förder- und Verschiebungsmechanismen des Flaschenzuges sind mit asynchrone kurzgeschlossene Elektromotoren mit Reversivanlassern KW, KN, KP, KS und einer Knopfsteuerung bestückt.

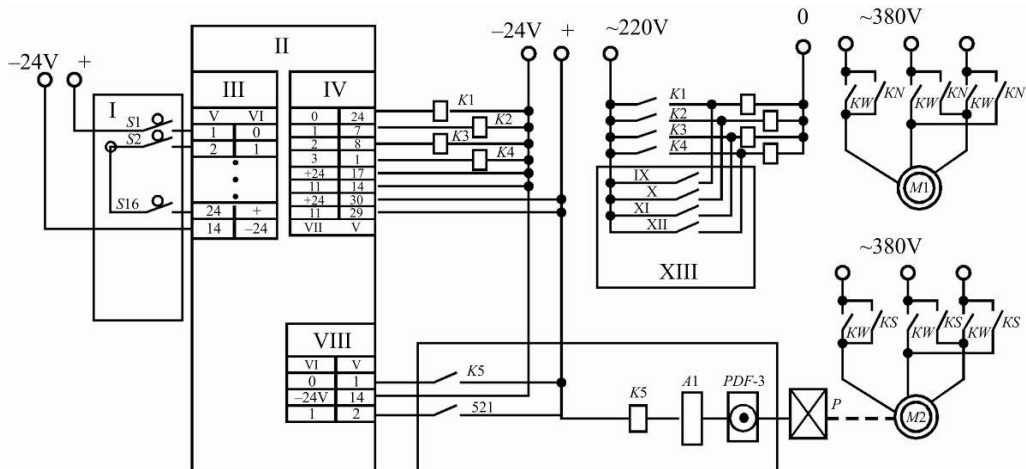


Abb. 3.1. Steuerungsschema des elektrischen Flaschenzug:

- I – Endsaltersatz; II – programmierbarer Mikrosteuerschalter;
 III – Eingangsmodul 1; IV – Ausgangsmodul 1; V – Kontakt; VI – Eingang;
 VII – Ausgang; VIII – Eingangsmodul 2; IX – Forwärts; X – Rückwärts;
 XI – Aufheben; XII – Senken; XIII – Handsteuerungsschalttafel

Für Mechanismensteuerung des Flaschenzuges von MKP war ein Zwischenrelais-Satz K1–K4 benutzt. Die Relaispulen waren an die Ausgangsstromkreisen des Steuerschalters angeschlossen, und die Relaiskontakte – in die Speisungstromkreisen der Anlasser parallel zu den Steuerungsknopfen eingeschlossen. Programmsteuerung den Flaschenzug ist bei freigelassenen Steuerknöpfen durchgeführt. Dieses Schema ermöglicht die Mikroprozessorstuerung den Flaschenzug ohne Änderung sein elektrischen Schema.

Der MKP hat die automatische Steuerung einem Programm aus seinem Speicher nach durchgeführt. Jedes Steuerungsprogramm kann im Speicher des Mikroprozessors beliebige Zeit bewahren, es kann vielmalig verwendet oder geändert sein.

Das Steuerungsprogramm, das der Anwender muß in den Coden der Eingangssprache des Mikroprozessors geschrieben, gewährleistet den vorgeschriebenen Algorithmus der Peripheriesteuerung. Sie befindet sich in den energieunabhängige Modulen des Speichers und erhält sich auch bei Primärspesungsausschaltung dank eine Batterie.

Vergleichende Versuche des mikroprozessorgesteuerten und des handgesteuerten Flaschenzugen waren auf einem Stand durchgeführt, der aus einen Flaschenzug mit Tragfähigkeit von 0,5 t, der auf einem Einbahngleis aufhing, einen Tachogenerator für Laufkatzenge-schwindigkeitsermittlung, die Schleifdrahtgeber für Lastseilabweichungsermittlung, Wegege-bern für Laufkatze, Oszillograf, Impulszähler, die ermitteln das Zahl der Einschaltungen für jeder Mechanismus und Imitationsmodell des Zieles für Last.

Die Versuche haben gezeigt, daß der mikroprozessorgesteuerte Flaschenzug hat die Genauigkeit des Treffens des Lastes in das Ziel von + 2–3 cm bei Laufkatzenweg bis 8 m und Lastseillänge bis 3,5 m gewährleistet. Beim Vergleich mit handgesteuertem Flaschenzug ist die Zykluszeit auf 50 % und die Einschaltungshäufigkeit des Verschiebungsmechanismus – auf 80 % gesenkt.

Diese Ergebnisse bestätigen die Vorteile des Mikroprozessors, weil er gewährleistet eine heftige Leistungserhebung und sichert eine wesentliche Lebensdauererhebung für Elektroeinrichtung und mechanisches Teil dank der Einschaltungshäufigkeitsverminderung.

Erfolgreiche Flaschenzugversuche lassen die komplexere Kransteuerungssystemen zu schaffen.

3.1.2. Керування портальним грейферним краном (вантажопідйомність 5 т). Die Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 5 t)

Logischer programmierbaren Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 (MKP) war auf Torgreiferkran (das Werk "Podjomnik", Taschkent) mit Tragfähigkeit 5 t montiert. Der Kran ist in einer Betriebsabteilung des Hausbaukombinats DSK-1 in Charkow eingestellt. Er nützte für Tonumladung von Tonvorratbehälter in einer von sechs Bunker.

Technische Daten des Kranes:

Typus	5GTW – 22,5–22;
Tragfähigkeit	5 t;
Förderhöhe	22 m;
Spannweite	22,5 m;
Basis	4,4 m;
Spur	2 m;
Fördergeschwindigkeit	40 m/min;
Senkengeschwindigkeit	40 m/min;
Kranverschiebungsgeschwindigkeit	72 m/min;
Laufkatzen geschwindigkeit;	39,6 m/min
Kranmasse	20 t;
Laufkatzenmasse	3,435 t;
Greifermasse	1,875 t;

die Elektromotoren:

- Fördermotor – MTF 411-6; 35 A; 22 kW;
- Laufkatzenverschiebungsmotor – MTF 012-6; 6,9 A; 2,2 kW;
- Kranverschiebungsmotor – MTF 211-6; 21 A; 7,5 kW;

– Stromart – Wechselstrom 380 V.

Auf dem Kran sind Magnetsteuerschaltern eingestellt: TSA.161.43

– förderung; TA.63.U3 – Laufkatzenverschiebung; DTA.160.U3 – Kranverschiebung.

Der Mikrosteuerschalter MKP kontrolliert alle 4 Kranmechanismen.

Den Eingangssignale (Abb 3.2) nach hat Mikrosteuerschalter ständig der Brückenlaufflage, Laufkatzenlaufflage, Lastseillaufänge und Greiferzustand (auf/zu) kontrolliert. Mikroprocessor ausgibt die Diskretsignale dem eingegebenen Programm gemäß. Die Signale übergeben sich in den Steuerschrank, der sich in die Kranfahrer kabine befindet. Dort befindet sich ein Kraftrelaissatz. Jedes Kraftrelais verbindet sich mit einem Magnetstationsanlasser. Gesamtzahl der Relais, die in der Kransteuerung betätigt sind, beträgt 20 (je 5 Relais auf jeden Kranmechanismus).

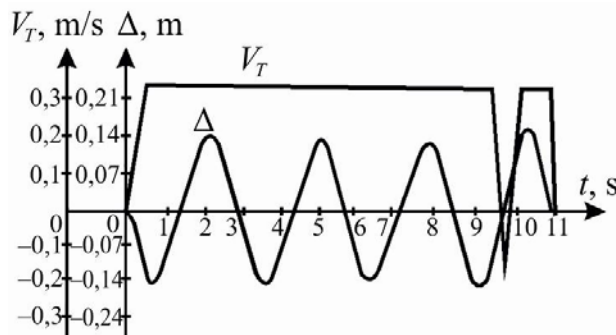


Abb. 3.2. Übergangsvorgängeschaubilder

Für Programmausführungskontrolle und für genaueres Arbeit des Greiferaufmachen- und Greiferzumachenmechanismus, übergeben sich im Mikroprozessor die Diskretsignale von Rückkopplungsgebern. Auf dem Kran sind solche Gebern montiert:

– Wegegebern der Kranbrückenlage. Sie sind "kettenartig" ausgeführt, und sind so auf der Brücke angeordnet, daß die Lineale, die auf der Gerüstbrücke des Unterkranbahngleises befestigt sind, können einen der Gebern bewirken und damit über den Durchgang verschiedenen Betriebsabteilungsabschnitten signalisieren;

– Wegegebern der Laufkatzenlage sind der Brücke entlang angeordnet mit 1 m Intervall und signalisieren über Laufkatzenlage auf der Brücke;

– die Gebern für Aufmachen, Zumachen des Greifers und Greiferaufhängelängegeber sind in Form originelles Differentialmechanismus ausgeführt. Sie signalisieren über Vollaufmachen, Vollzumachen des Greifers und über Greiferdurchgang einigen fixierenden Werten der Greiferaufhängenlänge;

– Geber für Verlegen des Greifers auf dem Grund. Er ist als elektromagnetisches Relais ausgeführt. Dieses Relais ist so eingestellt, daß es anspricht, wenn der Greifer auf den Seilen

aufhing, und abschaltet, wenn der Greifer auf dem Grund verlegt ist (der Strom in Kraftschaltkreis des Elektromotors verschwindet).

Weil die Gebern sind auf der Entfernung von 20 m von Mikroprozessor angeordnet, die Gebernsignale übergeben sich auf den Zwischenrelais (jeder Geber hat seines Relais), die eine halbanische Entkopplung der Eingangsstromkreisen des Mikroprozessors von äußeren Übertragungsleitungen und, damit, von elektrischen Induzieren wegen Großmagnetfeldern.

Das ermöglicht der Verkürzung der Eingangssignalleitungen des Mikroprozessors bis zu 3 m und ihres Abschirmen, daß gewährleistet die zuverlässigen Arbeit des automatischen Steuerungssystem unter ungünstigen Bedingungen. Eingangsrelaissatz sowie Kraftrelaissatz befindet sich im Steuerschrank.

MKP, seinen Programmen nach, durchführt die automatische Aufheben und Senken des Greifers, Kran- und Laufkatzenverschiebung aus einer vorgegebenen Lage in der anderen, und auch automatische Schwingungsdämpfung des Greifers in der Verschiebungendstelle.

Wie man Steuerschaltkreisen angeschlossen muß, ist auf dem Beispiel des Laufkatzenverschiebungsmechanismus gezeigt. Der Mechanismus ist mit Phasenrotormotor, dem Widerstandsatz und dem Kommandosteuerschalter, der vierstufige Geschwindigkeitsregelung des Mechanismus gewährleistet, bestückt. Die Steuerung von MKP durchführt man bei Nullstellung des Kommandosteuerschaltergriffs. An die Ausgangsschaltkreisen des MKP sind Zwischenrelaisspulen K1–K5 angeschlossen. Die Relaiskontakte sind in die Steuerungsschaltkreisen der Beschleunigungsanlasser eingeschlossen, parallel zu entsprechenden Kommandosteuerschalterkontakte. Das ermöglicht die Programmgeschwindigkeitsregelung, ein schneller Übergang von automatische Steuerung zu der Handsteuerung und umgekehrt, sowie ermöglicht die Einschaltung des MKP in bestehendes Elektroschema des Kranes ohne die Kranschemaänderungen.

Zur Ermittlung der tatsächlichen Kranparametern beim Anlassen und beim Bremsen und zur Dokumentalbestätigung der Effektivität des automatischen Steuerungssystem (zur Bestätigung der Geiferschwingungsdämpfung gleichzeitig mit Beendigung der Arbeit allen Kranmechanismen) wurde der Oszillograf K12–22. Es werden solche Kranparametern registriert: Kranverschiebungs- und Laufkatzenverschiebungsgeschwindigkeiten, Seilabweichungswinkeln von vertikale Achse in zwei Ebene.

Dafür wurden auf den Verschiebungsmechanismen des Kranes und der Laufkatze die Tachogeneratoren montiert, und unter der Laufkatze wurde einen Zweiebeneschleifdrahtgeber des Lastseilabweichungswinkel befestigt. Winkelgeber verbindet sich nicht direkt mit Greiferseil, sondern mit Zusatzseilchen, die mit einer Seite an den Greifer befestigt wurde. Die andere Seite der Zusatzseilchen verbindet sich durch die Seilrolle mit Trommel, die auf der Rollgangmotorwelle befestigt wurde. Dieser Motor ständig gewährleistet den Spannungszustand der Zusatzseilchen und aufwickelt sie bei der Greiferseillängeänderung. Diese Befestigungsschema ermöglicht die Registrierung des Abweichungswinkels bei die gleichzeitige Arbeit der Verschiebungs- und Fördermechanismen. Die Geberbefestigung direkt an

den Greiferseil ermöglicht das nicht, weil der Geber kann mit abgerissenen Drahtchen im Seil beschädigt werden. Beim Aufheben und Senken des Greifers verschieben die Seile der Trommel entlang, daß verursacht auch die unzulässige Ungenauigkeit der Registrierung.

Für Steuerungsgesetzenberechnung, bei deren die Laufkatze und der Kran wurden für minimale Zeit auf verschiedenen vorgegebenen Entfernungen verschiebt bei Volldämpfung der Greiferschwingungen im Endpunkt der Bewegung, wurden Computerprogrammen erstellt. Sie ermöglichen die Gewinnung der optimalen Steuerungsgesetzen für beliebiges Torkranes bei fixierte oder variable Lastaufhängenlänge.

Programmausgangsdaten:

- Kranmasse (Laufkatzenmasse);
- Greifermasse;
- bewegende Kraft;
- Bremskraft;
- statischer Bewegungswiderstand der Laufkatze und des Kranes;
- vorgegebener Weg für Laufkatze und Kran.

Bewegende Kraft, Bremskraft und statischer Bewegungswiderstand würde experimentell für konkretes automatisierendes Kranes zu ermitteln. Die Herstellerrechnungsangaben genügt nicht, weil die Rechnungsangaben können nicht die verschiedene Kranbetriebs- und Kranmontagebedingungen berücksichtigen. Nichtbeachten dieser Empfehlen kann sofort wesentliche Fehler verursacht, und damit zu den schlechten Steuerungs-gesetzen zugeführt.

Nach der Ausgangsdatenermittlung wird auf dem Rechenzentrum eine Mehrfachberechnung der optimalen Steuerungsgesetzen für die verschiedene Ausgangsdaten.

Als Rechenergebniss werden ausdrucken: Steuerungsgesetz, Geschwindigkeitsänderungsgesetz für die Brücke (für die Laufkatze), Abweichungswinkel des Lastseiles und andere wichtigen Parametern, die für die Konvergenzbewertung der Rechenergebnisse mit Experimentalergebnisse benötigt sind. Danach werden die Arbeitsprogramme für Mikroprozessor vorbereiten, die werden theoretische Steuerungsgesetzen realisieren und die werden andere technologische Operationen, wie Lastaufnehmen und Lastausschütten (u.a.), gewährleisten.

Im Laufe der Naturversuche auf dem Torgreiferkran mit Tragfähigkeit 5 t wurde die Möglichkeit für wesentlichen Beanspruchunsmiderung im Elementen des asynchrone Elektromotors mit Phasenrotor beim Anfahren und Gegenstrom-einschaltung entdeckt. Die Stöße, die infolge Spalten in der Verzahnungen entstanden, beurteilen die vorzeitigen Ausfälle der Zahnrädern, der Kupplungen usw. Es wird ein einfaches Verfahren des Spaltklaubens: der Mikroprozessor, vor der Signalausgabe für Einschaltung der ersten Stufe, ausgibt ein Vorimpuls für Einschaltung derselben Stufe mit Dauer von 0,05 s. Dieses Impuls ausreicht für des Klaubens allen Spalten in der Kette "Elektromotor – Laufrad". Es entstanden keine Stöße wegen der kleinen Dauer. Nach einer Pause von 0,07 s nach dem Vorimpuls wird die stoßfreie Basiseinschaltung ausführt. Ähnlicher Effekt wird beim Bremsen mit Gegen-

schaltung beobachtet. Bei der Handsteuerung ist die Realisierung dieses Verfahrens unmöglich.

Auf der Abb. 3.3, 3.4 ist die Naturoszillogramme der optimalen Laufkatzensteuerung mit Vollgreifer auf dem Kran mit Tragfähigkeit 5 t.

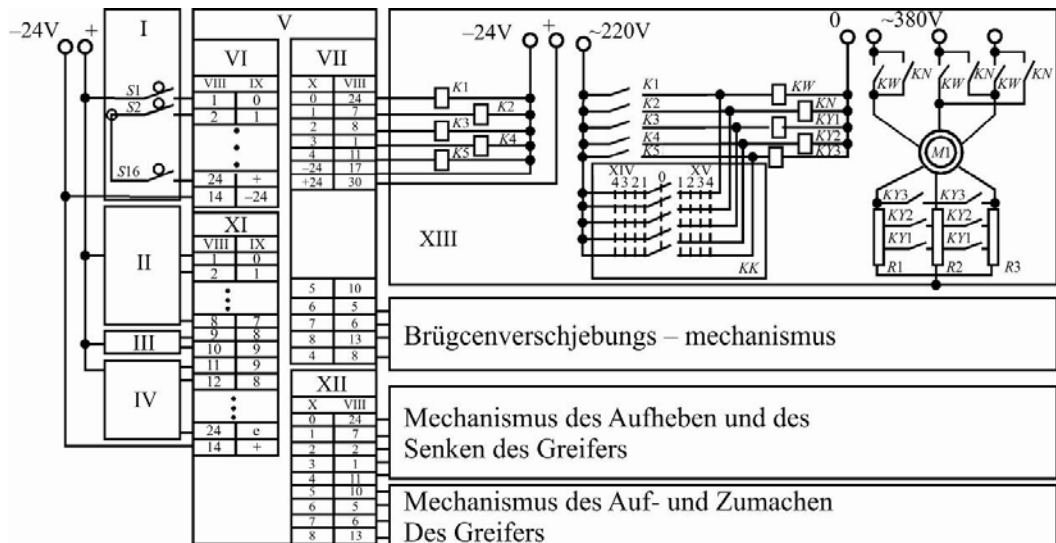


Abb. 3.3. Steuerungsschema des Torgreiferkranes mit Tragfähigkeit 5 t:

I – Brückenwegegeber; II – Lanfkatsenwegegeber; III – Greifergeber; IV – Lastseillangegeber;
V – programmierbarer Mikrosteuerschalter; VI – Eingangsmodul 1; VII – Ausgangsmodul 1;
VIII – Kontakt; IX – Eingang; X – Ausgang; XI – Eingangsmodul 2; XII – Ausgangsmodul 2;
XIII – Laufkatzenverrückungsmechanismus; XIV – Vorwärts; XV – Rückwärts

Die Naturversuche des automatischen Steuerungssystems (ASS) auf dem Kran zeigten:

- die zuverlässige Arbeit des ASS auf dem Naturkran bei der Einwirkung allen;
- ungünstigen Faktoren. Während 1,5-jahrelange Versuche gibt es keinen Programm-
usfälle;
- die Gerechtigkeit und Effektivität der theoretischen Steuerungsgesetzen. Die Ampli-
tude der Restschwingungen des Greifers im Bewegungsendpunkt überschreitet nicht 5–10 cm
bei der Greiferauflängenlänge 7–11 m. Die Kranpositionsfehler überschreiten nicht 10 cm,
die Laufkatzenpositionsfehler – 5 cm. Es sind die Reserven für Positionsgenauigkeitser-
höhung vorhanden;
- die Möglichkeit der Vollautomatisierung des Umladezyklus und der Gewährleistung
der notwendigen Lastüberarbeitungstechnologie;
- die Möglichkeit der Gewährleistung der Produktivitätserhöhung bei der Umladear-
beiten auf 20–25 %, der zweimalige Einschaltenzahlminderung im Vergleich zu Handsteuer-
ung, und wesentliche Erleichterung der Kranfahrerarbeitsbedingungen.

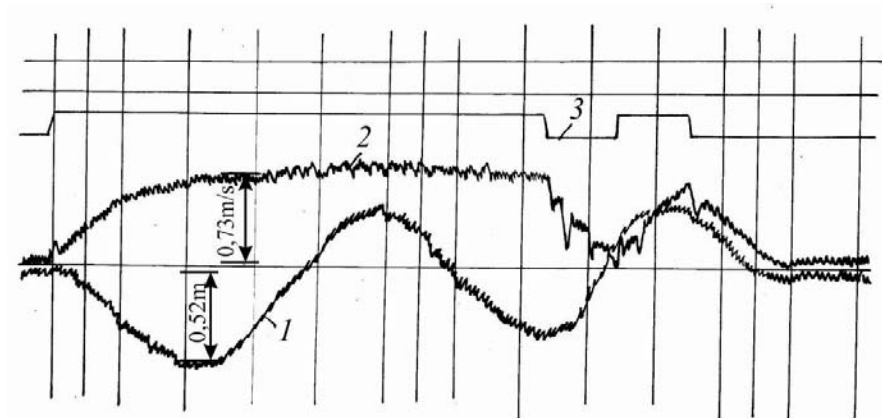


Abb. 3.4. Übergangsvorgängeoszillogrammen der optimal gesteuerte Torkranlaufkatze:
 1 – Signal von Seilneigungsgeber; 2 – Signal von Laufkatzegegeschwindigkeitsgeber; 3 – Signal von MKP-1 (programmierbare Mikroprocessorsteuerschalter) für Laufkatzeverrückungsmechanismus

3.1.3. Керування портальним грейферним краном (вантажопідйомність 3,2 т). Die Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 3,2 t)

Als Mikroprocessor für automatischer Kranmechanismensteuerung (Kranproduzent – das Fördereinrichtungswerk, Alexandria) war programmierbarer Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 gewählt.

Die Besonderheit dieser Kräne ist die Anwendung von Kraftsteuerschalters.

Technische Daten des Kranes:

Tragfähigkeit	3,2 t;
Spannweite	bis 22,5 m;
Förderhöhe	bis 16 m;
Steuerungsart	Steuerschaltersteuerung aus der Kabine;
Fördergeschwindigkeit	0,35 m/s;
Kranverschiebungsgeschwindigkeit	2,0 m/s;
Laufkatzenverschiebungsgeschwindigkeit	0,63 m/s;
Greifervolumen	0,8 m ³ ;
Laufkatzen + Greifer-Masse	3337 kg;

Elektromotoren:

- Fördermotor – MTKN 311-6U1; 9 kW;
- Kranverschiebungsmotor – MTF 112-6U1; $N = 5$ kW;

– Laufkatzenverschiebungsmotor – MTN 111-6U1; $N = 3,0 \text{ kW}$.

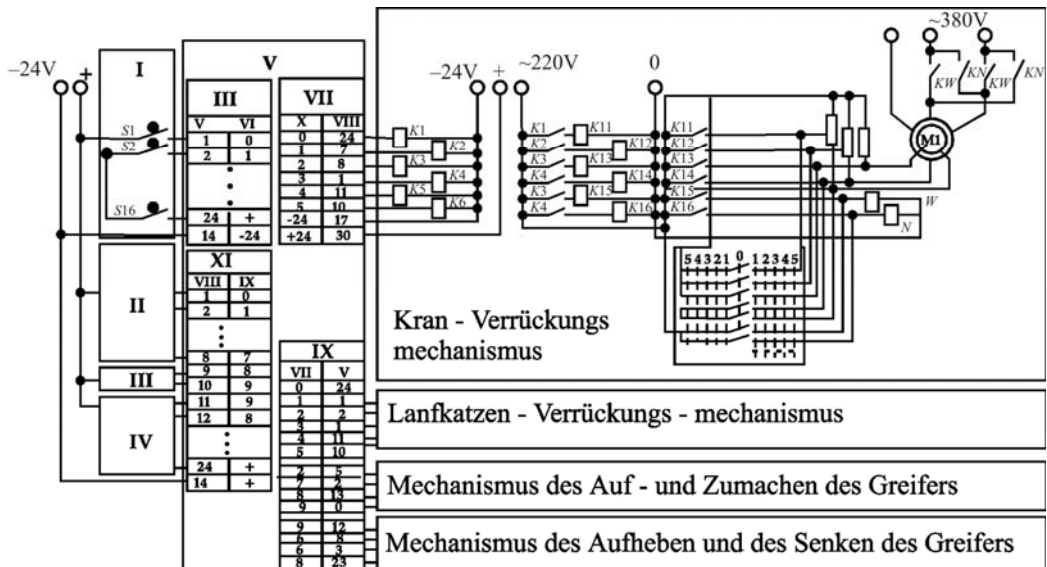


Abb. 3.5. Steuerungsschema des Torgreiferkranes mit Tragfähigkeit 3,2 t:

I – Brückenwegegeber; II – programmierbarer Mikrosteuerschalter;
 III – Eingangsmodul 1; IV – Ausgangsmodul 1; V – Kontakt; VI – Eingang;
 VII – Ausgang; VIII – Eingangsmodul 2; IX – Ausgangsmodul 2; X – Kran
 Verrückungsmechanismus; XI Forwärts; XII – Laufkatzen – Wegegeber;
 XIII – Geber des Greifers; XIV – Lastseilänge – Geber

Wie muß man die Steuerschaltkreise des MKP anschließen, ist auf der Abb. 3.5 auf dem Beispiel des Brückenverschiebungsmechanismus gezeigt. Der Mechanismus ist mit Widerstandsatz, mit Anlassern "Vorwärts" und "Rückwärts" und mit Kraftsteuerschalter, der fünfstufigen Regelung der Mechanismusgeschwindigkeit erlaubt, bestückt.

Für Leistungsanpassung und Kommutationsmöglichkeitenanpassung der Schaltkreise des MKP und des Steuerschalters ist ein Zwischenrelaissatz $K1-K6$ und ein Kontaktgebernatz $K11-K16$ vorgesehen. Die Zwischenrelaisspulen sind an die Ausgangsschaltkreise des MKP angeschlossen, und Relaiskontakte sind in Speisungsschaltkreisen der Kontaktgebern $K11-K16$ eingeschlossen. Die Kontaktgebernkontakte sind parallel zu den entsprechenden Kraftsteuerschalterkontakte angeschlossen. Automatische Mechanismussteuerung ist bei Nullstellung des Steuerschaltergriffs (Blockierungsschaltkreise sind nicht dargestellt) möglich. Das ermöglicht die automatische Programmgeschwindigkeitsregelung ohne die Elektroschema des Kranes zu ändern.

3.1.4. Керування тиристорним портальним грейферним краном (вантажопідйомність 3,2 т). Die thyristorgesteuerte Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 3,2 t)

Gleichstrom-Thyristor-Elektroantrieb bekanntlich ist heute einer der meist vollendeten Elektroantrieben. Er wurde auf den leistungsfähigen Greifer-Bunker-Umläder, auf den Betonverlegen- Turmkräne, Kabelkräne und auf einzelnen Portal-, Bock- und Torkräne, die verantwortlichen, anspannenden Aufgaben lösen.

Selbstverständlich, daß solche Kräne in der ersten Linie Mikroprozessorsteuerung benötigen. Darum würde es zweckmäßig, ein Kran-Prüffeld zu schaffen, um verschiedenen Mikroprozessor-Steuerungssysteme für Thyristor-Antriebe zu erproben.

Für Mikropozessor-Steuerung den Greiferkran mit Thyristorantriebe wurde programmierbaren Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 angewendet. Der Mikrosteuerschalter kontrolliert der Kranauflage, Laufkatzenauflage, Lastabweichungswinkel und Greiferzustand (auf/zu) (Abb. 3.6). Als Wegegeber dienen die Endschalter WK-2000.

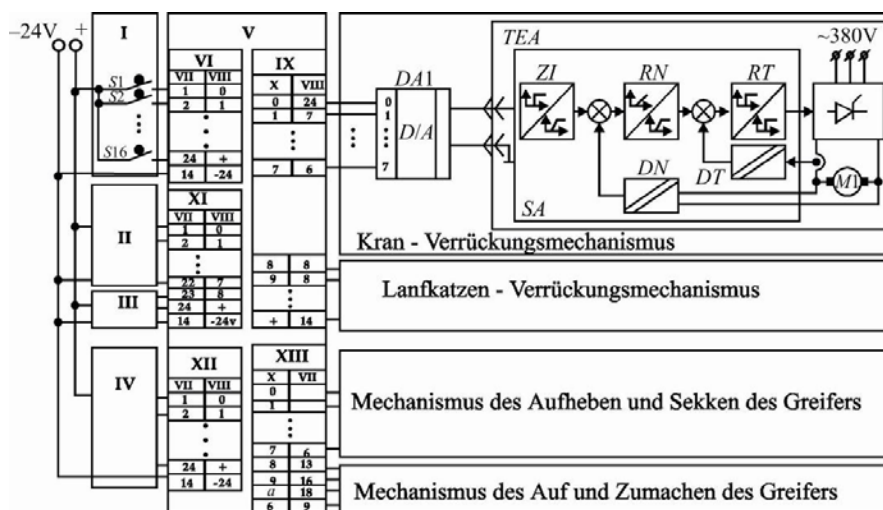


Abb. 3.6. Steuerungsschema des Torgreiferkranes mit Tragfähigkeit 3,2 t mit Thyristorelektroantrieb:

- I – Kran-Wegegeber; II – Laufkatze-Wegegeber; III – Geber des Greifers; IV – Geber des Abweichungs-Winkels des Lastseiles; V – programmierbarer Mikrosteuerschalter;
- VI – Eingangsmodul 1; VII – Kontakt; VIII – Eingang; IX – Ausgangsmodul 1; X – Ausgang;
- XI – Eingangsmodul 2; XII – Eingangsmodul 3; XIII – Ausgangsmodul 2

Als Lastseilabweichungswinkel-Geber wurde origineller optoelektronischen Positionsgeber mit "Trocken-Kontakt"-Ausgänge, die sich einschließen, wann einer bestimmten Abweichungswinkel erreicht wird, angewandt.

Der MKP ausführt der automatischen Steuerung den Brücken- und Laufkatzenverschiebungen von einer Stelle in die andere mit Schwingungsdämpfung des Greifers im

Endpunkt der Bewegung, und auch Steuerung dem Fördermechanismus und Greiferschließmechanismus. Wie man Steuerschaltkreisen des MKP angeschlossen muß, ist auf dem Beispiel des Kranverschiebungsmechanismus gezeigt. Die Brücken- und Laufkatzenverschiebungsmechanismen sind mit kompletten Thyristorantriebe TNP-C-32N-19-380-220-50 (Poland) bestückt.

- Technische Daten der Antriebe:
- Speisespannung: ~ 380 V, 50 Hz;
- Motornennleistung: 3,3 kW;
- Motornenndrehzahl: 1400 min^{-1} ;
- Motordrehzahlregelbereich: 1:10000.

Dieser Antrieb erlaubt der automatischen Steuerung, der Moment- und Drehzahlstabilisierung des Motors durch eingebautes System der automatischen Regelung mit Handeinstellung der Geschwindigkeit (auf dem Schema nicht dargestellt). Die Momentstabilisierung wurde durch Motorstromregelungskreis durchgeführt, die aus den Stromgeber *DT* und den Regler *RT* mit Adaptivstruktur besteht. Der Geschwindigkeitstabilisierung wurde von Geschwindigkeitsregelungskreis gewährleistet, der aus Spannungsgeber *DN* und proportionel-les Spannungsregler *RN* besteht.

Um die dynamische Belastungen bei den Übergangsvorgänge zu vermindern, wurde Intensivitätsollgeber *ZI* vorgesehen.

Um die automatische Geschwindigkeitsregelung des Mechanismus vorgegebenem Programm gemäß zu gewährleisten, sind 8 Stelle des MKP-Ausgangsmodules 1 durch den Analog-Digital-Umsetzer *DA1* an dem Geschwindigkeitsollwerteinstellungs-Eingang des Thyristor-Umsetzers *TPE* oder *ATRK* angeschlossen. Auf dieser Weise wurde die Kombination aus acht geschlossenen oder getrennten MKP-Ausgänge in eines Analog-Signal mit entsprechendem Niveau (im Bereich 0–10 V) umgesetzt. Dieses Signal wird auf den Eingang des automatischen Regelungssystems übergibt und definiert den laufenden Mechanismusgeschwindigkeitswert.

Dieses Schema ermöglicht die mikroprozessorischen Mechanismus-geschwindigkeit-sregelung ohne die bestehenden Elektroschema des Kranes zu ändern.

3.1.5. Керування баштовим краном (вантажопідйомність 5 т) з тиристорним електродвигуном. Steuerung den Turmdrehkran (Tragfähigkeit 5 t) mit Thyristor-Elektroantrieb

Die Drehkräne-Optimalsteuerung hat gewissen Besonderheiten im Sinne der Schwingungsdämpfung des Lastes, weil der Last abweicht sich in den 2 Ebene – in Auslege-rebene und aus der Auslegerebene.

MKP durchführt die automatische Kontrolle des laufenden Krandrehwinkels, des Lastseilabweichungswinkels von der Vertikale und automatische Drehmechanismus- und Fördermechanismussteuerung (Abb. 3.7).

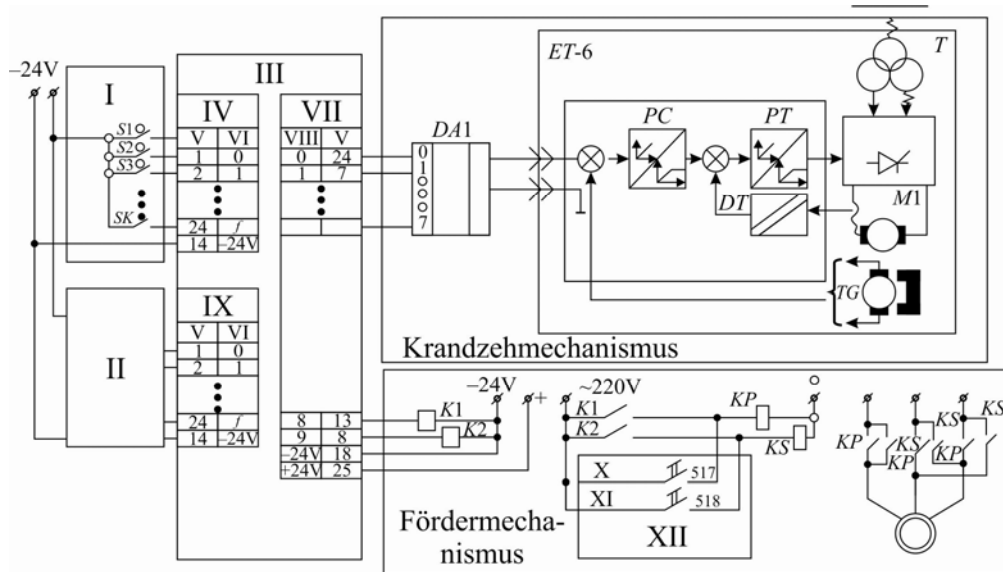


Abb. 3.7. Steuerungsschema des Turmdrehkranes mit Tragfähigkeit 5t mit Thyristorelektroantrieb:
 I – Kranlage-Gebern; II – Lastseilabweichungs-Gebern;
 III – programmierbarer Mikrosteuerschalter; IV – Eingangsmodul 1; V – Kontakt; VI – Eingang;
 VII – Ausgangs-Modul; VIII – Ausgangs; IX – Eingangsmodul 2; X – Aufheben; XI – Senken

Als Kranlagegeber (Drehwinkelgeber) verwendet man die Endschalter WK-2000 oder hermetischen Aufzugswegegeber. Als Lastseilabweichungswinkel-Geber wurden originellen optoelektronischen

Positionsgebern mit Kontakt-Ausgang angewandt.

Technische Daten des Kranes:

Tragfähigkeit	5 t;
Ausleger – Ausladung	12 m;
Förderhöhe	10 m;
Fördergeschwindigkeit	0,1 m/s;
Drehgeschwindigkeit	0,5 min ⁻¹ .
Antriebsselektromotoren:	

– Fördermotor – asynchron, mit kurzgeschlossenem Rotor, $N = 5 \text{ kW}$, $n = 980 \text{ min}^{-1}$;

– Drehmotor – Gleichstrommotor Typus 2PB, $N = 3,2 \text{ kW}$, $n = 1600 \text{ min}^{-1}$.

Der Krandrehmechanismus wurde mit kompletten Gleichstrom-Thyristor-Elektroantrieb ET-66 bestückt.

Elektromotor – mit unabhängiger Erregung und eingebautem Tachogenerator.

Elektroantrieb mit der eingebauten automatischen Regelungssystem erlaubt die stufenlose Drehzahlregelung und Momentstabilisierung. Momentstabilisierung ist durch Motorstromregelung-Kreis gewährleistet, der aus den Stromgeber *DT* und proportionell-integral Stromregler *RT* besteht. Motor-Drehzahlregelung ist durch Geschwindigkeit-sregelung-Kreis durchgeführt, der aus den Tachogenerator und Proportional-Regler *RS* besteht. Es ist Handeinstellung der Geschwindigkeit vorgesehen (auf dem Schema nicht dargestellt). Um die automatische Geschwindigkeitsregelung des Drehmechanismus vom MKP zu gewährleisten, sind 8 seine Diskretaushänge an den Eingänge des Analog-Digital-Umsetzer *DA1* angeschlossen. Er wird die Diskretsignale-Kombination in eines Analog-Signal mit entsprechendem Niveau (im Bereich 0–10 V) umgesetzt. Dieses Signal wird als Steuersignal auf den Geschwindigkeitseinstellungs-Eingang des Elektroantriebs *ET-6* übergibt. Fördermechanismus ist mit kurzgeschlossenem Elektromotor, mit Anlassern "Auf" und "AB" und mit Knopfsteuerung bestückt. Um automatische Fördermechanismus-Steuerung vom MKP zu gewährleisten, sind an seinen Ausgänge die Zwischenrelais *K1*, *K2* angeschlossen. Die Zwischenrelaiskontakte sind in Anlasserspulen-Schaltkreisen, parallel zu den entsprechenden Steuerungsknopfkontakte, eingeschlossen.

Dieses Schema ermöglicht die automatische Programmsteuerung des Kranes ohne wesentlichen Änderung sein elektrischen Schema.

3.1.6. Оптимальне керування обертанням крана (вантажопідйомність 5 т) з гідродинамічним приводом механізму повороту. Optimale Drehsteuerung den einstützigen Kran (Tragfähigkeit 5 t) mit hydrodynamischem Drehmechanismus-Antrieb

Einstützigen Drehkran, der auf eine Säule montiert wurde, ist mit zwei Hauptmechanismen bestückt: Fördermechanismus und Drehmechanismus. Die beiden Mechanismen sind mit asynchronen kurzgeschlossenen Elektromotoren angetrieben (Abb. 3.8). Fördermotor *M1* – metallurgische Kranmotor Typus MTK, und Drehmotor *M1* – industrieller Motor aus die 4A-Reihe. Um die Arbeitsfähigkeit des Elektromotors *M1* bei dem Aussetzbetrieb mit often Anlassen zu gewährleisten, ist auf der Motorwelle eine Hydrokupplung eingestellt. Die Hydrokupplung-Anwendung erlaubt die Stoßbeanspruchungen-Verminderung auf dem Motor und auf dem Mechanismus, die stoßfreies Anlassen des Drehmechanismus und die Möglichkeit der often Einschaltungen des Antriebsmotors zu gewährleisten.

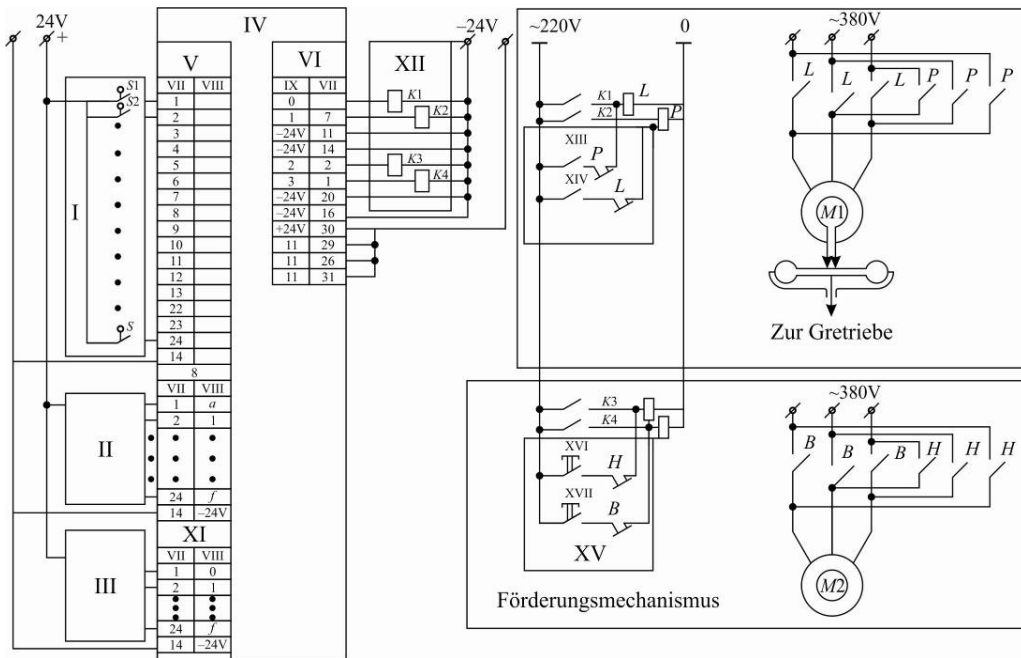


Abb. 3.8. Schema der Mikroprozessorkransteuerung:

I – Krandrehungs-Wegegebern; II – Seilabweichungswinkel-Gebern; III – Lastaufhängenlänge-Gebern; IV – programmierbarer Mikrosteuerschalter; V – Eingangsmodul 1; VI – Ausgangs-Modul 1; VII – Kontakt; VIII – Eingang; IX – Ausgang; X – Eingangsmodul 2; XI – Eingangsmodul 3; XII – Zwischenrelais-Satz; XIII – nach links; XIV – nach rechts; XV – Druckkport-schalttafel; XVI – «Aus»; XV – «AB»

Das Steuerungs-Schema gewährleistet wie Handsteuerungs-Betrieb, als auch automatischen Mikroprozessorsteuerungs-Betrieb des Kranes.

Bei der Handsteuerung ist die Steuerung von Knopfschalttafel unmittelbar auf dem Kran aus erfüllt. Bei diesem Betriebsart sind die Anlassern der Förder- und Drehmechanismen im eingeschalteten Zustand nur bei angepressten Steuerungsknöpfe (ohne Selbstaufnahme). Bei der Freilassung der Knöpfe werden die Elektromotoren durch Anlassern ausgeschaltet mit gleichzeitiger Bremsenauflegung (auf dem Schema sind nicht dargestellt). Auf dieser Weise ist die Kranbetriebssicherheit bei der Handsteuerung gewährleistet.

Automatischer Steuerungs-Betrieb erlaubt solche Funktionen:

- Krandrehung in die vorgeschriebene Position;
- Senken der Lastgreifer auf die vorgeschriebene Höhe;
- Aufheben der Lastgreifer auf die vorgeschriebene Höhe;
- Krandrehung und Lastsenken in die vorgeschriebene Position.

Das Mikroprozessorsteuerungs-System gewährleistet bei der Verschiebung von einer vorgeschriebenen Position aus in die andere die Optimalschnellsteuerung die Kranmechanis-

men mit Volldämpfung der Last- oder Lastgreifer-Schwingungen in der vorgeschriebenen Endpunkt der Bewegung.

Als Mikroprozessor ist im System einer Logischen programmierbaren Mikrosteuerschalter MKP-1-48-2 angewandt, der besitzt 48 logischen Eingänge für Bewegungsparametern-Kontrolle und 48 kontaktlose Ausgänge für Mechanismen-Steuerung. Die Einfachheit, relativ große Arbeitsgeschwindigkeit, ausreichende Zuverlässigkeit und geringe Kosten des Mikrosteuerschalters gewährleisten die Effektivität der Arbeit des Kranoptimalsteuerungs-Systems.

Für die tatsächliche Krandrehwinkel-Kontrolle sind Wegegebern des Drehwinkels S1 – S16 vorgesehen. Als Wegegebern sind die Endschalter angewandt, die häufig in der Industrie, und besonders in Kranbauweise, Anwendung finden. Die Gebern sind auf der unbewegenden Krangrundlage in der Arbeitsdrehwinkel-Zone befestigt. Auf der bewegenden Teil des Krandrehmechanismus ist eine Lineal eingestellt, die bei der Krandrehung der Reihe nach die Gebern einschaltet. Die Gebern-Ausgänge sind an die Kontakte des MKP-Engangs-Modul 1.

Für automatischen Aufheben oder Senken des Lastes auf die vorgegebene Höhe, und auch für optimale Kransteuerung, ist im System der Lastaufhängenlänge-Geber vorgesehen. Seine Ausgänge sind an den MKP-Eingangs-Modul 3 angeschlossen. Dieser Geber erlaubt die ständige Lastaufhängenlänge-Kontrolle zu ausführen.

Um die Volldämpfung der Lastschwingungen im Endpunkt der Bewegung zu gewährleisten, ist im System einer Codegeber der Seilabweichungswinkel von der Vertikal angewendet. Er erlaubt die tatsächliche Abweichungswinkelswerten-Kontrolle. Diese Abweichungen können wie von Übergangsvorgänge beim Anlassen und Bremsen des Krandrehmechanismus, als auch von Windwirkung verursacht werden. Der Geber umsetzt der momentane Seilabweichungswinkelswert in die entsprechenden Digital-Code, die von der Gebern-Ausgänge an die Kontakte des MKP-Eingangs-Modul 2 übergibt werden.

Bei dem automatischen Betrieb steuert der MKP die Kranförder- und Krandrehmechanismen durch derselben Anlassern, wie bei dem Handsteuerungs-Betrieb. Für Leistungsanpassen der MKP-Ausgangssteuerung-Signale und Steuerungsschaltkreisen der Anlasserspulen ist im System ein Zwischenrelais-Satz K1–K4 vorgesehen. Zwischenrelais-Spulen sind an die kontaktlosen Schlüssel des MKP-Ausgangs-Modul angeschlossen, und die Relais-Kontakte sind in die Anlasserspulen-Schaltkreisen parallel zu den Steuerungsknöpfe eingeschalten. Auf dieser Weise ist die einfache Anpassen der Steuerungsschaktkreisen des Mikroprozessors mit der kompletten Elektroeinrichtung des Kranes erreicht.

Das optimale Mikroprozessorsteuerungs-System des Drehkranes mit dem hydrodynamischen Antrieb arbeitet auf solcher Weise.

Auf der MKP-Steuerungsschalttafel einstellt die Bedienungsperson der notwendigen Position des Lastes (des Lastgreifers) und notwendigen Lasthöhe in dieser Position. Danach bestimmt der Mikroprozessor automatisch die tatsächliche Kranlage (mittels der Gebern) und auswählt automatisch das optimale Bewegungs-Programm aus dem Langzeitspeicher. Bei

der Programm-Ausführung kontrolliert der MKP die notwendigen Kranbewegungs-Parametern und den tatsächlichen Seilabweichungswinkel. Auf dem bestimmten Abstand von des vorgegebenen Endpunktes der Bewegung ausgibt der MKP ein entsprechenden Bremsensignal für den Krandrehmechanismus. Das Bremsen wird optimalem Programm nach durchgeführt, das von dem tatsächlichen Abweichungswinkel des Seiles von der Vertikale im Zeitpunkt des Bremsen-anfangs abhängt. Die Bremsen-Periode besteht aus die Reihenfolge des Bremsen und der Beschleunigung des Verschiebungsmechanismus. Die Intervallen-Dauer sind nach dem Pontryagin-Prinzip auf solcher Weise berechnet, um das genaue Positionieren des Lastes im Endpunkt der Bewegung mit Volldämpfung der Schwingungen zu gewährleisten. Das Programm der Kranoptimalsteuerung berücksichtigt auch dynamische Eigenschaften der Hydrokupplung des Drehmechanismus. Tatsächlich zeigt sich das durch die entsprechenden Intervaldauer-Änderungen des Bremsen und der Beschleunigung des Krandrehmechanismus bei der Ausführung des Bremsen- und Positioniern-Algorithmus.

Verbindung der Mikroprozessor-Optimalsteuerung den Drehkran und des Hydrodynamischen Antriebs des Drehmechanismus erlaubt der Last-Verschiebung von einem vorgegebenen Punkt ins andere mit minimaler Dauer. Sie erlaubt auch die dynamische Beanspruchungen im Drehmechanismus und im Stahlkonstruktion zu vermindern, und die Arbeitsfähigkeit der asynchronen Elektromotoren aus gesamtindustrieller Reihe in den Kranmechanismen zu gewährleisten (Abb. 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15).

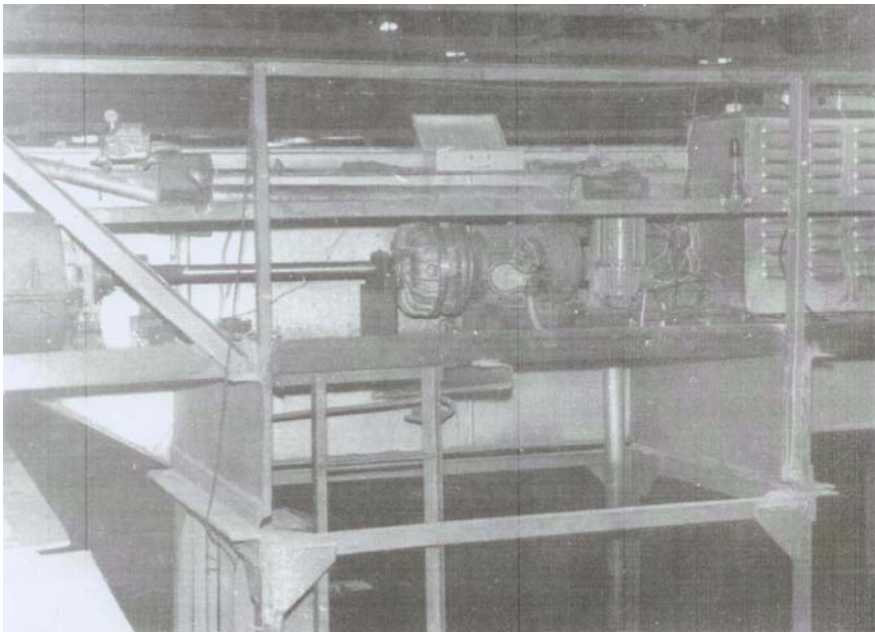


Abb. 3.9. Gentrennter hydrodynamischer Antrieb der Fahrvorrichtung vom Brückenkran mit der Ladekapazität 20/5 t. Uzlowskiy Werk für Produktionen der Kranen, 1972



Abb. 3.10. Gentrennter hydrodynamischer Antrieb der Fahrvorrichtung vom Brückenkran mit der Ladekapazität 20/5 t. Uzlowskiy Werk für Produktionen der Kranen, 1972

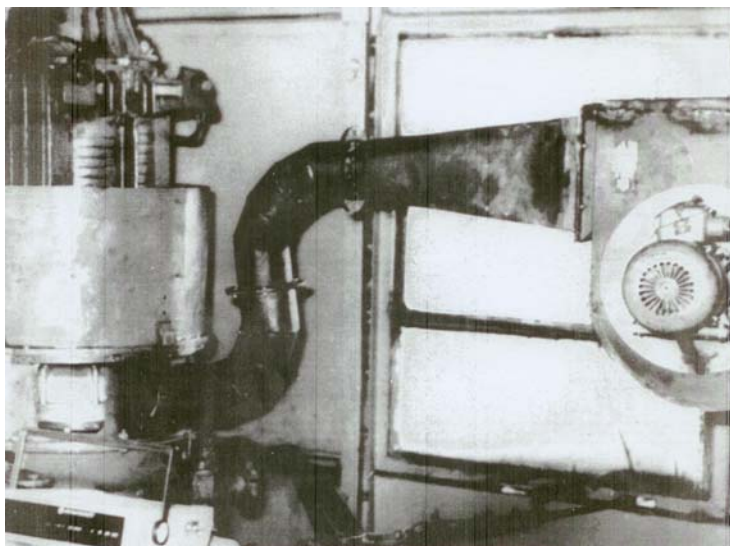


Abb. 3.11. Hydrodynamischer Antrieb vom Drehwerk des Portalkrans "Ganz".
Hafen in Klaypeda, 1987

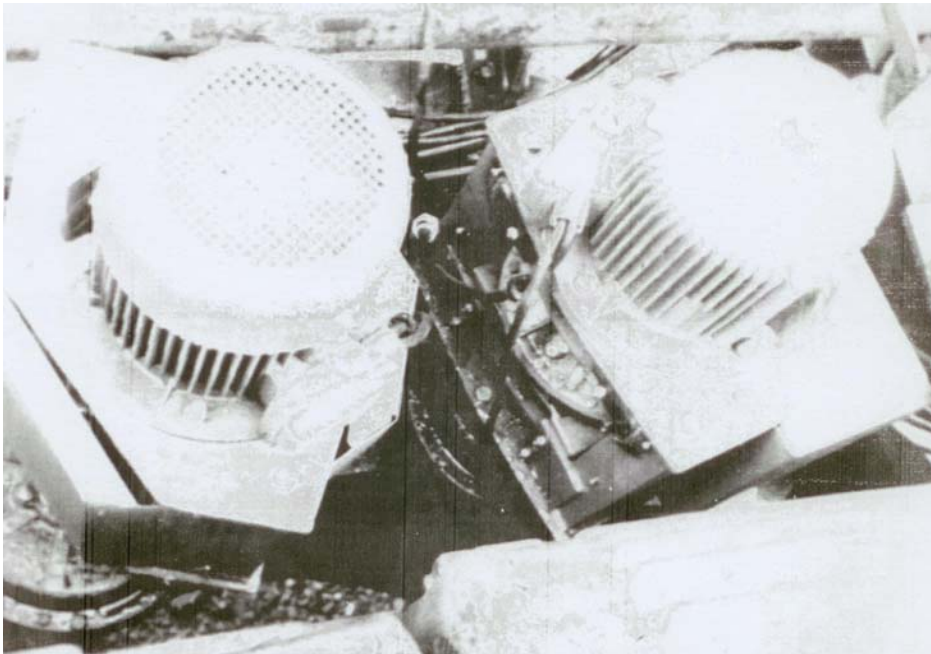


Abb. 3.12. Tandemantrieb vom Drehwerk des Turmkranes mit der Ladekapazität 10 t.
Werk "Rzhevbashkran", 1989

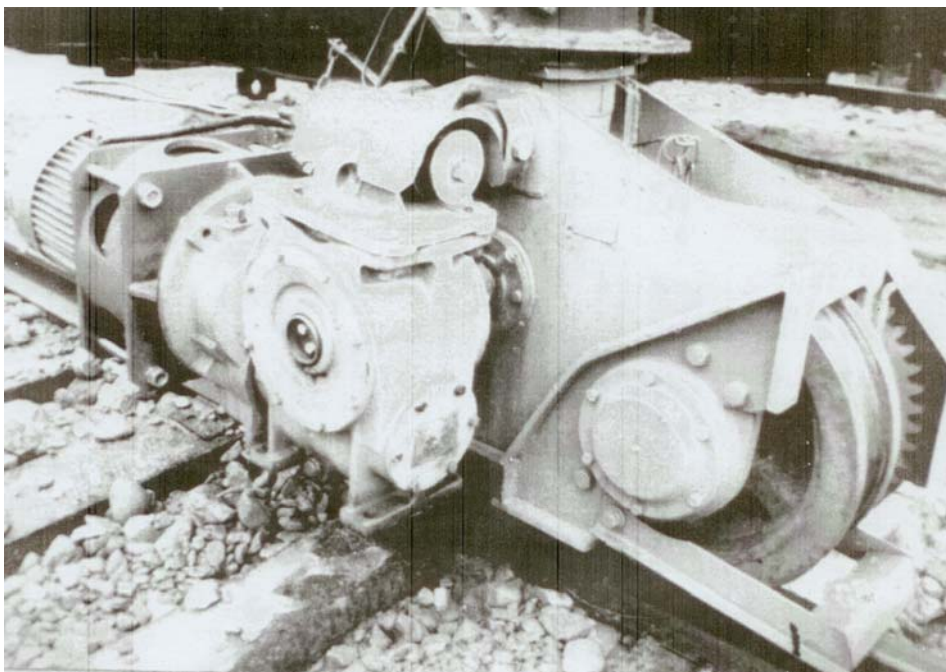


Abb. 3.13. Vierlinge Maschine der Fahrvorrichtung vom Brückenkran mit der Ladekapazität 10 t.
Werk "Rzhevbashkran", 1989



Abb. 3.14. Hydrodynamischer Antrieb vom Drehwerk mit der Ladekapazität 5 t. NTU "KPI", 1983

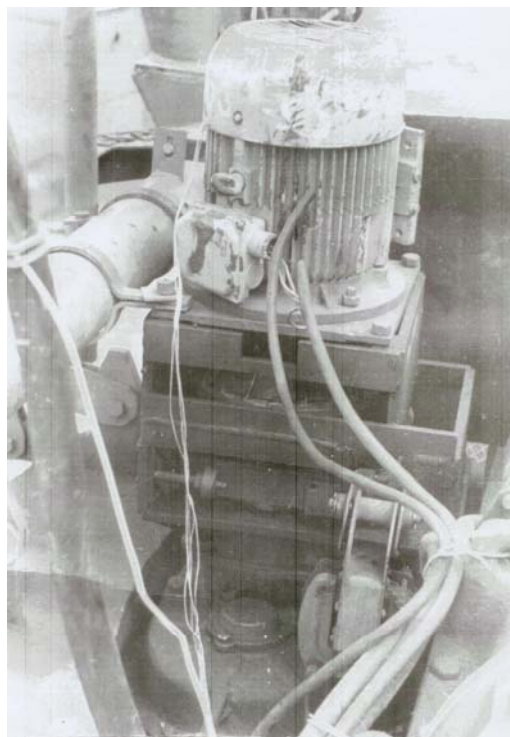


Abb. 3.15. Hydrodynamischer Antrieb vom Drehwerk des Turmkranes, Konstruktionsbüro 405,2
Kharkiver DSK-1, 1984

3.1.7. Керування краном з адаптивними елементами. Kransteuerung mit den Adaptations-Elementen

Strukturschema des Optimal-Steuerungssystem (OSS) des Kranes, das auf der Abb. 3.16 dargestellt ist, erlaubt alle Informationen, die für optimaler Kransteuerung notwendig sind, zu sammeln und zu verarbeiten, und auch die entsprechenden Steuerungseinwirkungen für Kranmechanismen zu erarbeiten.

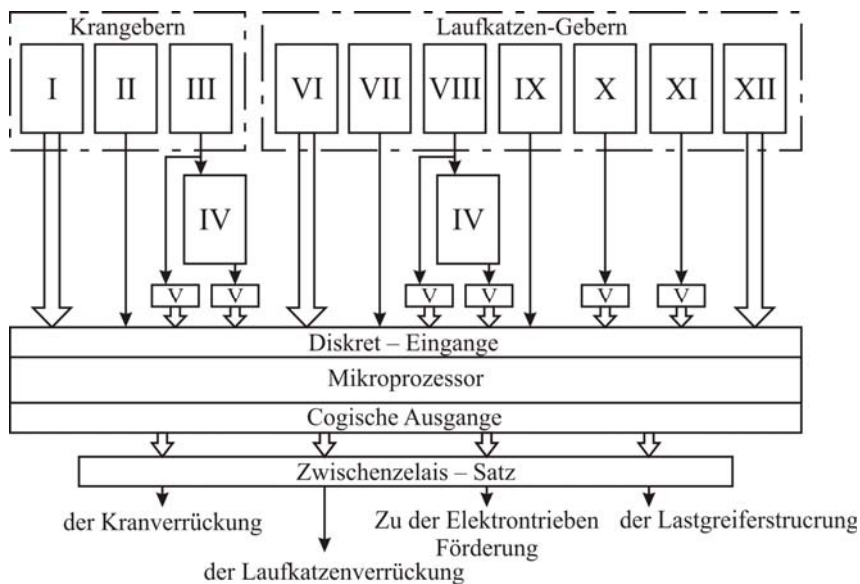


Abb. 3.16. Schema der Kransteuerung mit Adaptationselemente:

- I – Kranwegegeber; II – Krangeschwindigkeits-Geber; III – Stromgeber des Elektromotors der Kranverrückung; IV – Variable Komponente Einheit; V – Analog-Digital-Umsetzer;
 VI – Laufkatzen-Wegegeber; VII – Laufkatzen-Geschwindigkeitsgeber; VIII – Stromgeber des Elektromotors der Laufkatzenverrückung; IX – Seillängegeber; X – Seillabweichunggeber;
 XI – Lastmassegeber; XII – Geber des Lastgreiferzustandes

OSS des Kranes besteht aus die Gebern, Umformern, Mikroprocessor, und den Zwischenrelaissatz für Leistungsanpassen der Steuerungssignale des Mikroprocessors und bestehender, serienmäßig produzierten Kranmechanismen-Steuerschaltungen.

Die Wegegeber erlauben die tatsächliche Lage des Kranes auf dem Gleis zu ermitteln. Die von dieser Gebern ausgearbeitete Signale $N1$ übergeben sich unmittelbar auf den Mikroprocessor-Eingänge. Sie sind für ständige Kontrolle des Kranverschiebungs relativ des vorgegebenen Start- und Endpunkten ausgenutzt. Kranverschiebungs-Geschwindigkeitsgeber, der auf dem Kranantrieb aufmontiert ist, ausarbeitet eine Serie von Impulssignale $N2$. Ihre Häufigkeit ist proportionell zu dem Krangeschwindigkeits-Laufwert.

Stromgeber des Verschiebungs-Elektromotor, der auch auf dem Kranantrieb aufmontiert ist, ausarbeitet Signal I_1 , der proportionell zu dem momentanen Elektromotor-Stromwert (und, auf dieser Weise, dem Elektromotorwellen-Moment). Dieses Signal besteht aus "konstante" und "variable" harmonische Komponente. Die konstante Komponente ist von Bewegungs- und Beschleunigungs-Widerstandskräfte hervorgerufen, und die variable Komponente ist von Lastschwingungen hervorgerufen.

Abtrennungsblock der "variablen" Komponente erlaubt das Abtrennen des harmonischen Signals I_1^* aus dem Gesamtsignal I_1 . Die beiden Signale werden in die diskreten Form umsetzen mittels Analog-Digital-Umsetzern (ADU) und in Form von Signalen N_3 und N_4 werden auf den entsprechenden Mikroprocessor-Eingänge übergeben. Die Funktionen der Wegegeber der Laufkatze, Geschwindigkeitgeber der Laufkatze und Stromgeber des Elektromotors der Laufkatze sind Funktionen entsprechenden Kranegebern ähnlich.

Lastseillänge-Geber ausarbeitet bei der Drehung eine Impuls-Serie N_9 . Zahl der Impulse ist proportionell zu der Seillänge.

Seilabweichungswinkel-Geber ausarbeitet ununterbrochen das Signal α , das proportionell zu dem laufenden Seilabweichungs-Winkel oder zu seinem Sinus ist. Dieses Signal ist mittels ADU umgesetzt und in Diskretform N_{10} wird auf dem Mikroprozessors-Eingang übergeben. Das Signal C_E des Lastgewichtes, das in Diskretform N_{11} umgesetzt ist, gibt die Information über den momentanen Wert der Gewichtskraft des aufhebenden Lastes.

Die Lastgreiferzustand-Gebern (z.B. Greifer) ausarbeiten die logische Signale N_{12} – "auf" oder "zu".

Auf dieser Weise, das obengeschilderte System der Gebern und Umsetzern erlaubt die Information über praktisch alle Kranbewegungs-Parametern und Kranmechanismen zu erhalten. Ausgehend von dieser Information, bestimmt der Mikroprozessor den optimalen Zeitplan und Betriebsart der Kranmechanismen, um die Last von einem vorgegebenen Punkt in anderen vorgegebenen Punkt für eine minimale Zeit und mit notwendiger Genauigkeit zu verschieben. Danach ausarbeitet der Mikroprozessor eine Serie der Steuerungs-Signale $N_{13}...16$, die durch den Zwischenrelais-Satz einwirken auf den Elektroantriebe der entsprechenden Kranmechanismen. Auf solcher Weise erfüllt sich das optimale Bewegungs-Programm mit der Lastschwingungsdämpfung und genaueres Positionieren des Lastes im Endpunkt der Bewegung.

Die System-Struktur erlaubt die Korrektur des vorläufig berechneten Gesetzes mittels Gebern-Information zu durchführen.

Während des Kran- und Laufkatze-Anfahrens werden die tatsächliche dynamische Kran-Parametern bestimmt, und während der regelmäßigen Bewegung – der tatsächliche Bewegungs-Widerstand.

Das Signal des Seilabweichungswinkel-Gebers erlaubt der ununterbrochenen Kontrolle der Amplitude und der Frequenz der Lastschwingungen in zwei Ebene zu durchführen, und

das Signal von dem zusätzlichen Seillänge-Geber erlaubt die Größe und die Richtung der Lastabweichung relativ des Aufhängenpunktes zu ermitteln.

Nach der Beendigung des Übergangs-Vorgang des Kran-Anfahrens, vergleicht der Mikroprozessor die tatsächlichen und theoretischen Parameter-Werten und korrigiert auf der entsprechenden Weise das prognostizierte Steuerungs-Gesetz. Damit, dank den Gebern und Rückkopplungen, wird das hochgenaue Positionieren des Lastes im vorgegebenen Punkt erreicht, unabhängig von den schwer theoretisch zu berücksichtigte Störungseinwirkungen.

3.2. Керування на базі КТС ЛІУС-2 "MikroDAT" і "Електроніка МС".

Die Steuerung auf der Basis KTS LIUS-2 "MikroDAT" und "Elektronika MS"

Die Vorteile des KTS LIUS-2 "MikroDAT" vor die "Elektronika MS" (Mikromitteln):

- KTS LIUS-2 ist für die Bildung der objekt-orientierten Erzeugnissen der automatisierten Steuerungssystemen der technologischen Vorgänge vorausgesetzt. D.h. sie bestehen aus die Funktionselemente (einige dutzend der Typen) für den Anschluß der verschiedenen Gebern, der Stellglieder, der Kontroll-, Diagnostik- und Steuerelemente;
- besitzt ein Baukastenbauweise (aufhängende Schränke, Pollern, Blöcke, Gestellen), was die Gestaltung der Konstruktionsblöcke je nach Arbeitsplatz-Förderungen erlaubt;
- guter apparatseitigen Schutz von der Industriell-Störungen. KTS LIUS-2 ist für die Arbeit in den Betriebsabteilungen, auf den Walzwerken usw. vorausgesetzt, und "Elektronika MS" – nur für die Arbeit im Raum mit normalen Bedingungen;
- KTS LIUS-2 besitzt eine bequeme Fehlerbeseitigung-Mitteln für die Apparatur und für die Programmversorgung auf dem Objekt ("MS" benötigen stets des äußeren Cross-Komplex, und KTS LIUS-2 – nur selten);

Die Nachteile des KTS LIUS-2 "MikroDAT" im Vergleich mit der "Elektronika MS" (E-60, DVK, E-MS0585):

- MS besitzen entwickelte Programmversorgung (PV), die erlaubt die Aufgaben der Optimalsteuerung, Informationssystem, Steuerungsaufgaben im Real-Time-Modus zu lösen für komplexeren Technologien, in denen die komplex bewegende Kräne (z.B. Spezialkräne) arbeiten können. Die Möglichkeiten des KTS LIUS-2 angesichts PV sind sehr begrenzt;
- die MS-Leistung ist 2–5 Mal höher als KTS LIUS-2-Leistung;
- Apparaturvolumen der MS ist einige Male kleiner als des KTS LIUS-2.

Die Schalttafel in den Kranoptimalsteuerungs-Systemen für MS ist nur ein wenig komplizierter, als für KTS LIUS-2.

Das Steuerungs-System für Fördermaschinen auf dem Basis des KTS LIUS-2 besteht aus:

- Stromversorgung-System (Stromversorgung-Schrank);
- Steuerung-Mikro-EDV (mit ein oder zwei Prozessoren – die Schränke *KK 47.02*);
- Gebern-System, das die wichtigsten Funktionen des automatisierten Kranes unterstützt;

- Antrieben-System (regelbaren und unregelbaren).

Die Architektur der Apparatur ist abhängig von:

- dem Kran-Typus, den Bauweise-Besonderheiten des Kranes, den Elektroschema-Besonderheiten des Kranes;

- dem Technologie-Art;

- den Funktionen, die sind für Steuerungs-EDV vorgegeben.

Die Basis-Funktionen der Steuerung-Mikro-EDV sind solche:

- die automatische Steuerung die Kranmechanismen ohne Einmischung des Menschen der Fahrstraße-Karte nach (die Karte wird von Bedienungsperson eingegeben oder sie wird von Mikro-EDV selbst bestimmt);

- die automatische oder halbautomatische Bearbeitung der komplexen Form des Aufschüttunslastes oder des Lagerterritoriums;

- Bestimmung der quasioptimalen Laufbahnen der Lastverschiebungen;

- Gewährleistung der Betriebssicherheit für Autokräne, Turmkräne und anderen Auslegerkräne. Gewährleistung des Schutzes von der unzulässigen Windbeanspruchung, von der unzulässigen Plattformneigung und Ausleger-Ausladung;

- die Lastschweigungen-Dämpfung (bei dem flexiblen Aufhängen) im Laufe und im Endpunkt der Bewegung;

- die Geschwindigkeitsregelung der Kranmechanismen;

- die Bestimmung des laufenden und Gesamtgewichtes des Lastes, das während der bestimmten Zeitstrecke bearbeitet war;

- die Bestimmung der tatsächlichen Betriebsmode-Gruppe des Kranes, des einzelne Mechanismus, Einschaltunzsahl der Mechanismen, usw.

Das Stromversorgung-System besteht aus:

- Basis-Elektroleitung: 220 V, 10 A Wechselstrom von der getrennten Phase; stabilisierte, filtrierte Spannung;

- Hilfs-Elektroleitung von den Maschinenaggregaten ESS-Typus;

- Reserveelektroleitung von Akkus, +24 V;

- das System des Stromversorgung-Abschalten bei den Betriebsstörungen.

Die Steuerungs-Mikro-EDV besteht aus:

- Stromversorgungs-Einheit 220 V; +5 V; +12 V; +24 V;

- Kühlungs-Ventilatoren, Thermostabilisierung;

- Zentralprocessor-Einheit mit Arbeitsgeschwindigkeit 150–500 Tausend Op/s;

- Speichervolumen:

- Operativspeichers – 16 K (32 K) Bytes;

Langzeitspeichers – 4 K (16 K) Bytes;
 energieunabhängiges Operativspeicher für Fehlerbeseitigung – 4 K Bytes;
 Zeitsygnalevorgabe – von der 50 Hz-Frequenz;

- System für Start, Restart und gegenseitigen Restart der Prozessoren;
- Schalttafel für Kransteuerung und Kontrolle;
- Fernsehmonitor für Informationsanzeige der System-Arbeitsfähigkeit, Ausführung der Technologie usw. für Kranfahrer;
- Außentafel mit Kassetentonbandgerät für Ladung der technologischen Programme;
- bitserienmäßigen Fernmeldekanal mit IRPS-Protokol (radialer Reihenfolge-Interface) für Verbindung mit der Dispatcher-Schalttafel;
- Servomitteln für Programmfehlerbeseitigung.

Rückkopplungsgebern-System besteht aus:

- Wege- und Geschwindigkeitsgebern der Mechanismen Typus *PDF-3*;
- Positionsgebern auf dem Basis der Endschaltern *WP-15D* – für Anpassung des Ablesensprung der Geschwindigkeitsgebern, für operative Eingabe der Bewegungs-Begrenzungen und Kontrollpunkte;
- Gewichtslast-Gebern;
- zweikoordinaten Seilabweichungs-Gebern – kontaktloser Widerstandsgebern oder elektronischen kontaktlosen Gebern;
- die Gebern für Lenkung auf dem Ziel – elektronischen mit Phasenüberlagerung.

Antrieben-Steuerungssystem besitzt eine (Relais-) Kommutierungs-Einheit um die bestehenden Kranantrieben zu steuern; regelbaren Thyristor-Einheit Typus *ATRK*, *TPE*.

Ferner werden die einzelnen Anwendungsbeispiele des KTS LIUS-2 für Fördermaschinensteuerung.

3.2.1. Керування електричною таллю вантажопідйомністю 0,5 т. Die Steuerung der Elektroflaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t

Auf der Abb. 3.17 ist das Strukturschema der Steuerung dargestellt, welche für den Elektroflaschenzug TE-0,5 WZP entwickelt war. Auf dem Schema sind solche allgemeingültige Bezeichnungen angewendet:

- *KK 47.02* – Aufhängenschrack für Mikro-EDV;
- *KW 91.07-05* – Stromspeisung-Einheit für Mikro-EDV;
- *KK 10.03* – der Korb für Funktionsmodule der Mikro-EDV;
- *4BT* – Fernsehmonitor (schwarz-weiße Fernsehgerät) für Mitteilungen- Anzeige für den Kranfahrer im Laufe der Arbeit des automatisierten Kranes;

- *KF* – Funktions-Tastatur für Betriebsmode-Eingabe der Mikro-EDV seitens Kranfahrer;
- *KW 95.14* – Kontroll- und Fehlerbeseitigung-Tafel für Mikro-EDV;
- *BR* – Relais-Einheit (ein/aus) des benötigten Antriebs;
- *PDF-3* – Geschwindigkeits- (Wege-) Gebern der entsprechenden Mechanismen;
- *WP-15D* – Wegegeber (in den Kontrollpunkten).

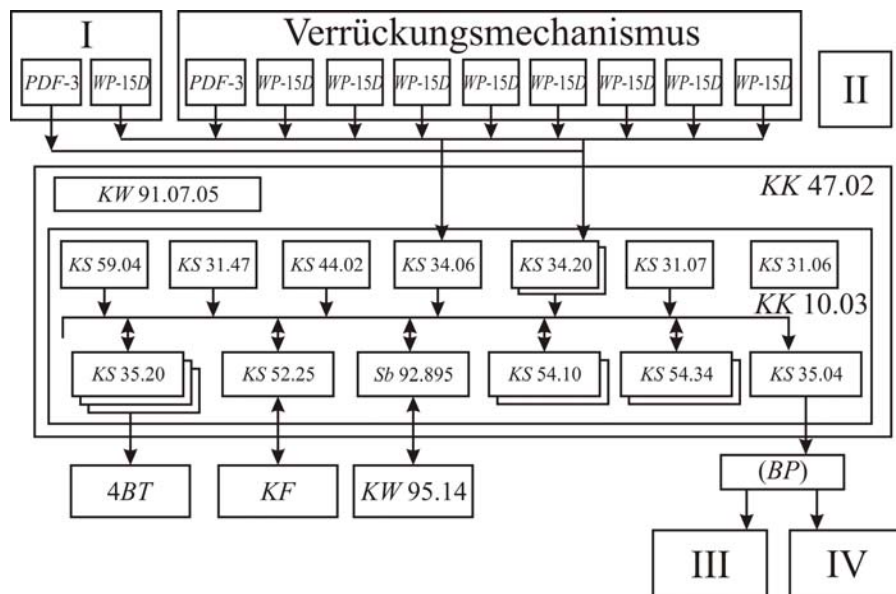


Abb. 3.17. Schema der Flaschenzugsteuerung (Flaschenzugtragfähigkeit 0,5 t)
durch "KTS LIUS-2 MikroDAT" – Einrichtung:

I – Förderungsmechanismus; II – Abweichungswinkel-Geber;
III – Antrieb des Kranzerrückungs-Mechanismus; IV – Antrieb des Förderungsmechanismus

Funktionsmodulen:

- *KS 59.04* – Zentralprozessor auf dem Basis des Mikroprozessors K 580 IK 80;
- *KS 31.41* – Schaltuhr für Zeitbereichen-Eingabe für dem angewandten Programm;
- *KS 34.06* – Element für Diskretnsignale-Eingabe von der Positionsgebern;
- *KS 34.20* – Element für Impulssygnale-Eingabe von der Geschwindigkeitsgebern;
- *KS 31.07* – ADU – Analog-Digital-Umsetzer;
- *KS 31.06* – Vermittlungseinrichtung für Analog-Sygnale-Eingabe von dem Lastseilabweichungswinkel-Geber;
- *KS 35.20* – Steuerschalter der text und graphische Informations-Ausgabe auf den Fernsehmonitor;
- *KS 52.25* – bit-serienmäßiger Steuerschalter mit dem IRPS-Protokoll – für Informations-Eingabe mittels Tastatur;

- Sb 82.595 – Einrichtung für Verbindung der Tafel KW 95.14 mit Interface IK-1;
- KS 54.10 (2 St.) – RAM – operativer Speicher – 32 KBytes;
- KS 54.30 (2 St.) – PROM – Langzeitiger programmierbarer Speicher – 8 KBytes für der Speicherung des angewandten Programms;
- KS 36.04 – Element für Eingabe der Diskreitsygnale des Einschalten des notwendigen Antriebs.

Das Steuerungssystem des Flaschenzuges erlaubt:

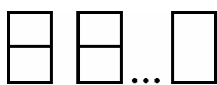
- das Selbstlernen von der Bedienungsperson – d.h. Speicherung und Wiederholung im automatischen Betriebsmode des Laufbahnes der Lastbewegung, die zuerst von der Bedienungsperson im manuellen Betriebsmode eingegeben wurde;
- Aufnahme und Ausnutzen der eingegebenen Laufbahnen der Lastbewegung für den Umweg der Hindernisse durch das Programmieren der Koordinaten der Hindernisse von der Bedienungsperson-Schalttafel;
- optimalen Flaschenzug-Steuerung mit der Lastschaukelwinkel-Begrenzung und Last-schwingungen-Dämpfung im vorgegebenen Punkt bei variablen Lastmasse und Aufhängenlänge.

3.2.2. Керування портальним грейферним краном (вантажопідйомність 16 т). Die Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 16 t)

Auf der Abb. 3.18 ist das Strukturschema der Steuerung dargestellt, welche für den Torgreiferkran mit Tragfähigkeit 16 t (Erzeugniss des Charkower Förder- und Hebe-Einrichtung-Werk namens W.I. Lenin) entwickelt war.

In Ergänzung zu den Bezeichnungen zur Abbildung 3.18 sind solche Bezeichnungen angenommen:

- LS MS 4101 – Optik-Faser-Verbindugslinie um Bordcomputer mit Dispatcher-EDV zu verbinden;
- KW 27.47 – Funktions-Tastatur;
- PKU – Kontroll- und Steuerungs-Schalttafel – für Bedienungsperson-Kranfahrer (Handgriffe und 7-Segmet-Anzeiger mit 8 Positionen);
- RK 1 – Kassettenband-Speicher, um Anwender-Programme (technologische) zu speichern;
- FS 1501 B/P – Lochband-Lesegerät für Fehlerbeseitigung der Mikro-EDV;



– die Leuchttafel für Lastgewicht-Anzeige und Anzeige des Gesamtgewichtes des Lastes, das während der bestimmten Zeitstrecke bearbeitet war;

- KS 52.81 – Steuerschalter (Arbitr) für System-Hauptleitung IK 1;

- KS 54.11 – energieunabhängiges Operativspeicher für Fehlerbeseitigung der Programme
- KS 36.90 – Element für Impuls- (Frequenz-) Signale-Eingabe von der Geschwindigkeitsgeber;
- KS 91.52 – Element der Reservestromversorgung;
- KS 36.32 – Steuerschalter des RK-1-Speichers.

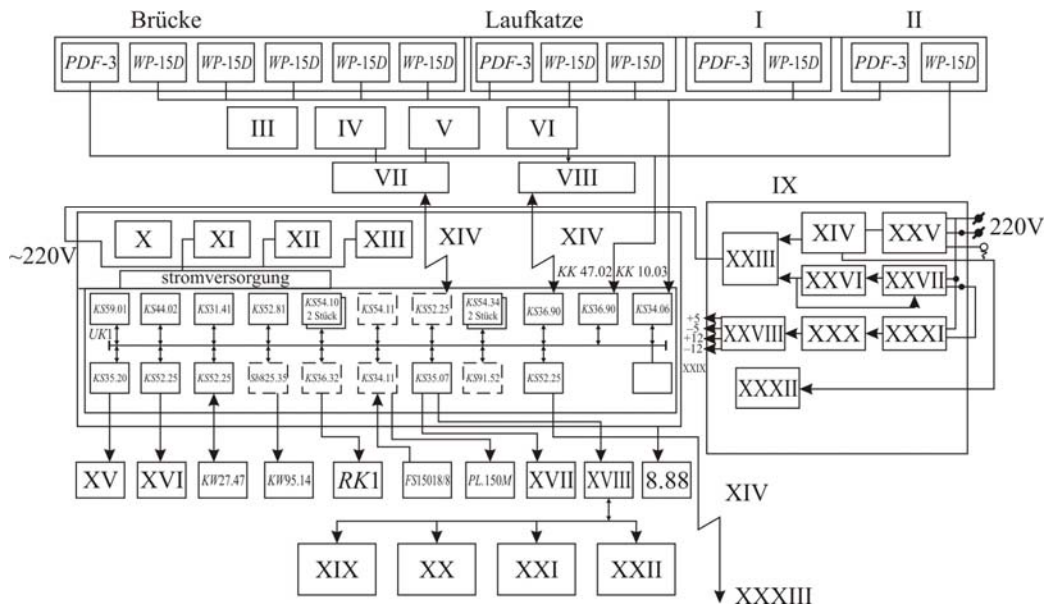


Abb. 3.18. Strukturschema der Torgreiferkransteuerung mit Tragfähigkeit 16 t:

- I – Mechanismus des Zumachen des Greifers; II – Mechanismus des Gegenhalter des Greifers;
 III – Gegenhalter des Seiles; IV – Lastgewicht-Geber; V – Lastgewicht-Geber;
 VI – Abweichungswinkel-Geber des Lastseiles; VII – Gewichtgeber-Steuerschalter;
 VIII – Abweichungswinkel-Geber-Steuerschalter; IX – Elektroschrank; X – Luftfilter;
 XI – Ventilatoren-Einheit; XII – Thermorelais; XIII – Thermoregler; XIV – Verbindungsleitung;
 XV – Monitor; XVI – Kontrol und Steuerungsschalttafel; XIX – Antrieb der Brückenverrückung;
 XX – Antrieb der Laufkatzenverrückung; XXI – Antrieb des Mechanismus des Greifer-Zumachen;
 XXII – Antrieb des Mechanismus des Greifergegenhalters; XXIII – der Umschalter;
 XXIV – Netzfilter; XXV – Stabilisator; XXVI Maschinengenerator; XXVII – Elektromotor;
 XXVIII – Umsetzer; XXIX – gesamt; XXX – Akkumulator +24V; XXXI – Eingabe-Einrichtung;
 XXXII – Stromversorgung +24V; XXXIII – Zur Haupt-EDV

Das obenbeschriebene Schema besitzt solchen Möglichkeiten:

- automatischer Kran-Betrieb mit Realisierung der Steuerungs-Gesetzen, die optimal nach Arbeitsgeschwindigkeit sind, mit Greiferschwingungen-Dämpfung im beliebigen Punkt des Unterkranraumes mit Berücksichtigung der eventuellen Windwirkung für die Kräne, die auf dem offenen Luft arbeiten;

- Aufgabe und Realisierung der beliebigen Laufbahnen der Lastbewegung mit Berücksichtigung der Hindernissen auf dem Weg;
- automatische Ermittlung des optimalen Laufbahnes der Lastbewegung;
- Bearbeitung des Aufschüttungslastes auf der Lagerfläche, automatisch, mit Schrittauswahl usw.;
- Gewichtsmessung des Förderlastes, Speicherung des Gesamtgewichtes des Lastes, das während der bestimmten Zeitstrecke bearbeitet war; Bestimmung der laufenden Kranleistung und Kranleistung für der bestimmten Zeitstrecke;
- Erfassung der Zeiten der Handsteuerung und automatischen Steuerung des Kranes;
- der Kran kann in der Krangruppe arbeiten, die von der Dispatcher-Schalttafel gesteuert wird.

3.2.3. Апаратна конструкція мікропроцесорної системи керування для металургійного крана вантажопідйомністю 16 т. Die Apparaturen-Bauart des Mikroprocessor- Steuerungssystem für Hüttenkran mit Tragfähigkeit 16 t (Abb. 3.19)

Im Abschnitt 3 sind Variante der Strukturschemen des Steuerungssystemen dargestellt, in deren ist die Apparatur, die im unseren Lande produziert war, angewendet: MKP-1. KTS LIUS-2 "MikroDAT" Minpribor (Ministerium für Gerätetechnik), "Elektronika MS" MEP (Ministerium für elektronische Industrie) und voraussichtliche Bauart der Apparatur residenten Special Mikro-EDV. In diesem Abschnitt sind die Beschreibung und genauere Bauart der Kranbordapparatur mit Anwendung von dieser technischen Mitteln angeführt für verschiedene Krantypen, die erlaubt die industrielle Anfertigung dieser Apparatur.

Die Besonderheit dieses Kranes besteht in Greifereinrichtung mit fester Verbindung mit der Laufkatze und in den vier Antrieben: (1) – Fördermechanismus-Antrieb, (2) – Ladestock-Mechanismus-Antrieb, (3) – Zangendrehung-Antrieb und (4) – Zangensteuerung-Antrieb. Grundaufgaben der Hüttenkran- Automatisierung sind solche: automatisierte Bewegung allen Kranmechanismen, die Gewährleistung der optimalen nach Zeit und Raum gegenseitigen Bewegungen allen Kranmechanismen, genaue Lenkung und Zielfang des Zieles mit maximalen Abweichung + 10 mm.

Als Ergebniss des durchgeführtes Modellieren mit Anwendung eines Benchmark-Programms wurde es erhalten, das für die Lösung der obengenannten Aufgaben einer einprozessorischen Special-Mikro-EDV auf dem Basis des Mikroprozessors 580 IK 80 genügt. Das Befehls-System und Arbeitsgeschwindigkeit dieses Prozessors gewährleisten vollkommen die Lösung der Aufgaben, wenn es gleichzeitig nicht mehr als zwei

Mechanismen arbeiten. Die Mitteln KTS LIUS-2 sind vollkommen geeignet für diese Anwendung.

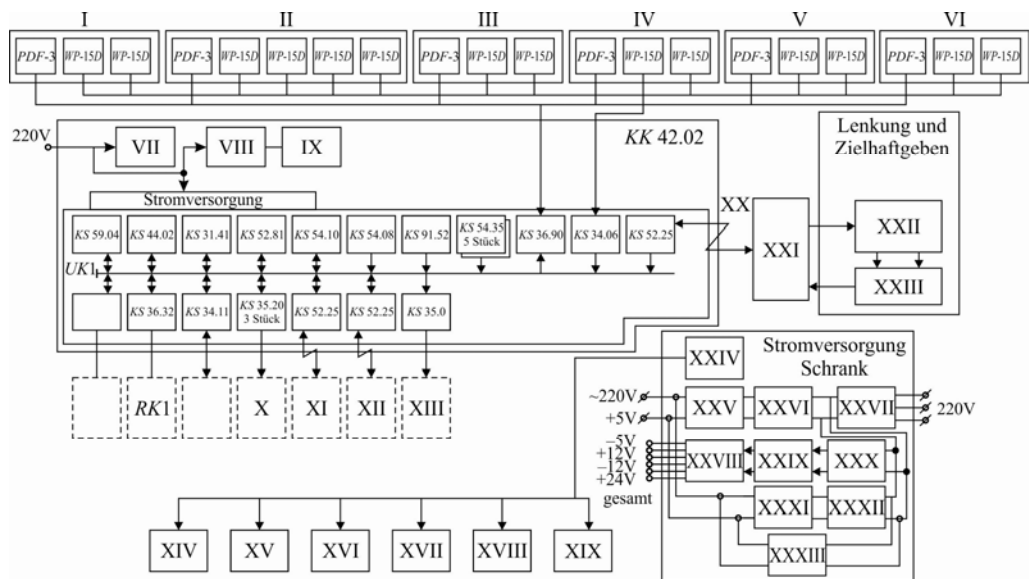


Abb. 3.19. Strukturschema und Steuerungssystembauarten des automatisierten Torhüttenkranes mit Tragfähigkeit 16 t:

- I – Laufkatzen-Verrückungsmechanismus; II – Kran- Verrückungsmechanismus;
 III – Förderungsmechanismus; IV – Mechanismus des Wischstockaufheben; V – Mechanismus des Zangendrehung; VI – Mechanismus des Zangensteuerung; VII – Thermoregler; VIII – Ventilatoren-Einheit; IX – Luftfilter; X – Videomonitor; XI – Steuerungsschalttafel I; XII – Steuerungsschalttafel II; XIII – Tonsignalisation; XIV – Antrieb des Laufkatzenverrückungsmechanismus; XV – Antrieb der Kranverrückung; XVI – Antrieb des Förderungsmechanismus; XVII – Antrieb des Mechanismus der Wischstockaufheben; XVIII – Antrieb des Mechanismus der Zangendrehung; XIX – Antrieb des Mechanismus der Zangensteuerung; XX – Verbindungsleitung; XXI – Steuerschalter des Gebers; XXII – IR – Sender; XXIII – IR Empfänger; XXIV – Antrieb-Steuerung-Einheit; XXV – Netzfilter; XXVI – Stabilisator; XXVII – Maghetanlasser; XXVIII – Umsetzer; XXIX – Akkumulator; XXX – Aufladeeinrichtung für Akkumulator; XXXI – Maschinengenerator; XXXII – Elektromotor; XXXIII – Rückkopplung

Eines solche Kransteuerung-System betrachtet als Regler von dem Gesichtspunkt der Lenkung und des Zielfanges aus. Das System besitzt ein Basis-Rückkopplung-Geber: origineller Lenkung- und Zielfang-Geber (Abb. 3.19), der aus den Sender mit breit-moduliertes Radio-Signal und aus den Empfänger für breit-modulierten Impuls-Signale mit Phasen-Abtastung des Antennen-Richtdiagramms besteht. Mittels diesen Geber wird genaue Lenkung im Vorgang der Kran- und Laufkatze-Bewegung gewährleistet. Die Arbeit des Empfängers und des Senders und die Verbindung mit der specialisierten Bord-Mikro-EDV

wird durch spezialisierten Steuerschalter des Lenkung- und Zielfang-Gebers gewährleistet. Dieser Steuerschalter befindet sich zusammen mit dem Empfänger auf dem Lastgreifer und ist auch auf dem Basis des Mikroprozessors 580 IK 80 aufgebaut. Außerdem, das Steuerungssystem besitzt bis zu 20 Hilfsgebern. Nicht alle von dieser Gebern können beim Betrieb ausgenutzt werden, das ist von der Arbeitstechnologie abhängig. Diese Gebern sind solche (2 Typen):

- *PDF-3* – dieser Geber umsetzt die Bewegung (der Drehwinkel) der Arbeitsorgane des industriellen Mechanismen in die Impuls-Zahl und die Winkelgeschwindigkeit – in die Folgefrequenz der Impulse. Das ermöglicht das Weg jeder Mechanismus zu ermessen und die laufende Geschwindigkeit im realen Zeitmaßstab.;

- *WP-15D* – Endschalter. Er arbeitet nach dem Prinzip "Ja/Nein". Er dient für die Anpassung des Wegegebers *PDF-3* in Zeit und Raum in der Basispunkte der Mechanismulage und in der Kontrollpunkte für Organisation und Kontrolle des optimalen Bewegungs-Laufbahnes. Verschiebungsmechanismus der Laufkatze besitzt ein *PDF-3*-Geber und zwei *WP-15D*-Gebern auf den beiden Brückenenden. Verschiebungsmechanismus des Kranes besitzt ein *PDF-3*-Geber und von 2 bis 15 *WP-15D*-Gebern, die sind am Anfang und am Ende des Krangleises und in den technologisch-wichtigen Punkte aufgestellt. Fördermechanismus der Lastgreifer-Zangen- Einrichtung besitzt 2 *WP-15D*-Gebern für zwei Endlage des Mechanismus. Für optimale Überlagerung der Mechanismen-Bewegungen können die *PDF-3*-Gebern anwenden. Das ist von der Technologie der Arbeit konkretes Kranes bestimmt.

Die Antrieben-Steuerung ist von der Mikro-EDV mittels das Ausgabe-Element der Diskretsignale *KS 35.04* und den Relais-Steuerung-Einheit (mit Stromversorgung +25 V) gewährleistet, die den Algorithmus des Kransteuerschalters der Antrieben-Steuerung wiederholen. Außerdem gehen durch das Element *KS 35.04* vier Steuerungs-Signalleitungen für der Ein-/Ausschalten des technologischen und Havarie-Signalsystems.

Mikro-EDV befindet sich im Aufhängeschrank *KK 47.02* aus den Standartbauelementen *UTK-20*-Reihe, der im Kran-Maschinensaal oder in der Kranfahrrkabine eingestellt ist. Dort befinden sich auch ein Korb für Funktionselementen-Aufstellung *KK 10.03* mit der 23 arbeitsplätze, Stromversorgungs-Einheit *KW 91.07-05* (220 V, +5 V, –8 V, +12 V), Ventilatoren-Einheit der Luftkühlung und Heizungs-Element, Luftfilter für Luftaustausch mit der Umwelt bei hermetisch geschlossenen Schranktüren; Montageplatte für Anschluß der Vebindungsleitungen mit Bedienungsperson-Schalttafel, mit Dispatcher-Schalttafel und mit dem Lenkung- und Zielfang-Geber, Zweidrahtleitung für Anschluß der Gebern *WP-15D*, Koaxialleitungen für Gebern *PDF-3*, Vebindungsstrick mit Relais- Einheit für Antrieben-Steuerung, Steckerverbindungen für Serviceapparat.

Funktionselemente:

- Steuerungs-Elemente auf dem Basis des Mikroprozessors 580I80 – *KS 59.04*;
- Priorität-Zutritt-Element (Arbitr) – *KS 52.81*;

– Zeit-Signale-Element *KS 31.41* – für Organisation des multiprogrammen Betriebes des Mikroprozessors;

– das operative Speicher-Element (RAM) – Kapazität 16 K – *KS 54.10*;

– das energieunabhängige RAM-Element (Kapazität 4 K) – *KS 54.08* mit Reserven Stromversorgung-Einheit *KS 91.52* – für operativer Fehlerbeseitigung und Prozessor-Kontrolle und für Erproben der neuen technologischen Programmen;

– das Element (auswechselbar) für langzeitige Speicherung (PROM) mit dem ultravioletten Löschen *KS 54.34*. 8 KBytes – 3 St., für Speicherung der Programmen und Tabellen mit der technologischen Information, Optimalsteuerung, Systemprogrammen und Tabellen;

– Eingabe-Element für Impuls-Sygnalen *KS 36.90* von den *PDF-3*-Gebern;

– Eingabe-Element für Diskret-Sygnalen *KS 34.06* von den *WP 15D*-Gebern;

– Verbindungssteuerschalter *KS 52.25*, bitserienmäßiger (mit *IRPS*-Protokoll) für Anschluß der Verbindungsleitungen – 3 St.;

– Ausgabe-Element für Diskret-Sygnalen *KS 34.04*;

– Ausgabe-Element für schwarz-weißem Fernsehmonitor der Steuerungs-Schalttafel;

– Anschlußplatten *Sb 82.595* für Kontroll- und Steuerung-Serviceplatte *KW 95.14*;

– Kupplungssteuerschalter *KS 36.32* mit Kassetentonband-Speicher *RK 16*;

– Ein- und Ausgabe-Element für Lochstreifen *KS 34.11* für Anschluß während des Fehlerbeseitigung-Vorganges / Reparatur des Photolesegerät *FS 1501 B/P*;

Steuerungs-Schalttafel (*PKU 1*) ist für Handsteuerung des Kranes und Eingabe des automatisierten Betriebes vorausgesetzt und besteht aus:

– den Monitor (schwarz-weißen Fernsehgerät) origineller Bauart, auf dem Basis des "Elektronika 404D"-Fernsehgerät;

– der Tastatur *KW 27.47* (*KW 27.48*);

– Druckknopfen "ANLASSEN", "STOP", "NOTAUSSCHALTEN".

Für operative Reparatur der Mikro-EDV, Aufladen der neuen technologischen Information sind solche Service-Einrichtungen, die sich ständig im Reparaturbüro befinden, notwendig:

– Platte für Kontrolle und Fehlerbeseitigung in Programmen *KW 95.14*;

– Kassetentonband-Speicher *RK 1*;

– Photolesegerät *FS 1501 B/P* für Lochstreifen-Eingabe.

Es sind 3 Variante der Stromversorgung der Mikro-EDV vorgesehen:

1) Durch Anschluß an einer Netz-Phase 380/220 V. Für den Schutz gegen kurzzeitigen Netzstörungen ist ein Netzfilter angewendet. Für den Schutz gegen Stromausfall oder Überspannung/Niederspannung bei Kontaktausfall in Kontaktbürsten bei Ein-/Ausschalten der Elektromotoren – Spannungsstabilisator. Stromversorgungs-Einschalten ist durch Magnetanlasser durchgeführt, wenn von Steuerungs-Schalttafel *PKU 1* "ANLASSEN"-Signal ausgibt wird.

2) Durch Anschluß an den Generator des Zweimaschinenagregat Typus A2-T 380/230-2-012/YA-UYA. Er muß in solchen Fälle anwenden, wenn der Schutz-Maßnahmen gemäß 1) nicht ausreichend sind.

3) Durch Anschluß an den Akkumulator (–24 V, 180 A/Stunden) für Reservenstromversorgung.

3.2.4. Керування грейферно-бункерним перевантажувачем. Die Steuerung den Greifer-Bunker-Umlader

Die Funktionen des mikroprozessorischen Optimalsteuerung- Systems des Greifer-Bunker-Umladers (GBU):

- Automatisierung des Umlade-Zyklus des Aufschüttungslastes nach dem Schema: Lastkahn-Bunker, Lastkahn-Waggon, Lastkahn-Stapel;
- Berechnung des optimalen Greifer-Laufbahnes;
- die optimale Bearbeitung der Oberfläche des Aufschüttungsgutes im Lager und im Lastkahn.

Auf der Abb. 3.20 ist das Strukturschema des residenten Mikroprocessor-System der optimalen Steuerung dargestellt, welche für den Greifer-Bunker-Umlader mit Leistung 800 t/Stunde (Leningrader Fördereinrichtungs-Werk namens S.M. Kirow) – GBU-800, entwickelt war.

In Ergänzung zu den Bezeichnungen zur Abbildung 3.20 sind solche Bezeichnungen angenommen:

- KK 71.08-6 – Tisch für Aufstellung des TV-Monitors und Tastatur;
- KK 47.02 – der Poller für Bord-Mikro-EDV-Aufstellung für Bedienungsperson-Kranfahrer;
- KK 27.47 – Aufhängenschrank für Aufstellung der Mikro-EDV, die die Antrieben steuert und primäre Gebern-Signale-Bearbeitung;
- KWP-16, WP-15D – Positionswegegeber.

Besonderheit des Steuerungs-System des GBU-800 besteht in der Aufstellung von 2 Prozessoren:

- der erste;
- wird in der Kranfahrer-Kabine aufgestellt. Er ist für Anzeige der technologischen Information, Aufnahme und Erfüllung der Kranfahrer-Befehle, für Notfallausschalten und Berechnung (Auswahl) der optimalen Steuerungs-Gesetzen usw. vorausbestimmt;
- der zweite;
- wird im Maschinensaal aufgestellt. Er ist für Informationsaufnahme von Gebern, Steuerung die Thyristor-Antrieben, für Gewährleistung der Verbindung durch Lichtleiter

(Typus MS 4101) mit 1^M – Prozessor vorausgesetzt. In diesem Mikroprozessor befinden sich "starre" Koordinierungspläne der optimalen Steuerungs- gesetzten und "starre" Technologiepläne der Arbeiten.

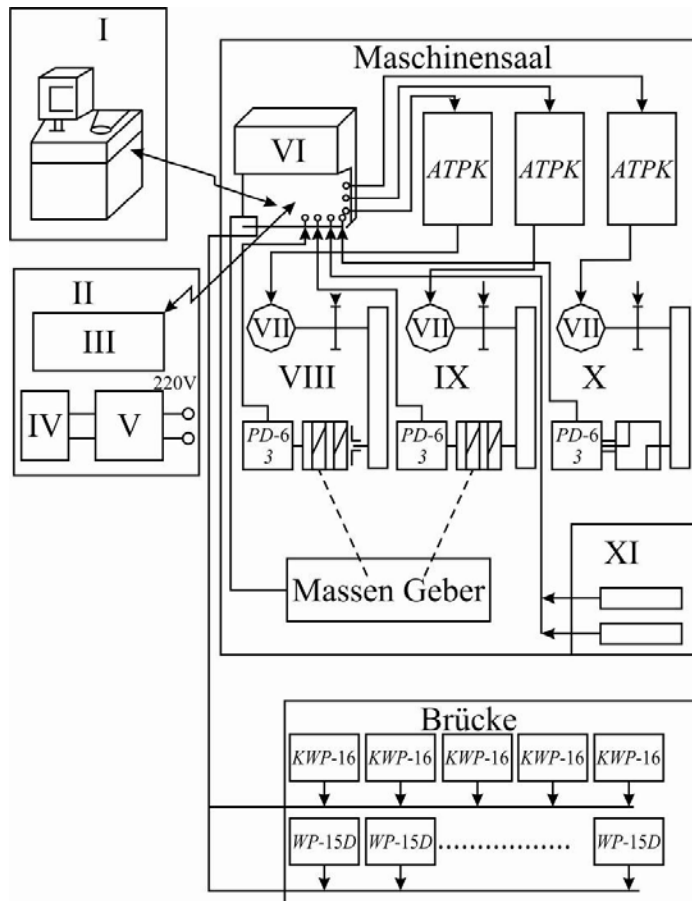


Abb. 3.20. Strukturschema der Steuerung des Greifer Bunker-Umlader durch "KTS LIUS-2 MikroDAT"-Einrichtung:

I – Kranfahrer-Kabine; II – Lanfkatre; III – Seilabweichungswinkel-Geber; IV – Akkumulator 24V;
V – Aufladegerät; VI – Aufhängeschrank; VII – Motor; VIII – Zumachen-Mechanismus;
IX – Fordermechanismus; X – Verrückungs-Mechanismus; XI – Tragfähigkeitbegrenzer

Es sind zwei Prozessoren angewendet, weil Kranfahrer-kabine sehr beweglich ist und ihre Entfernung von der Antrieben beträgt 200–300 m.

Das bestimmt alle übrigen Eigenschaften der Apparatur und der Programmen.

In der Kranfahrer-kabine, im Poller KK 47.02 können aufgestellt werden:

– Prozessor auf dem Basis KTS LIUS-2, der bearbeitete die Befehle für Bedienungsperson-Kranfahrer und ausgibt die technologische und Notfall-Information auf den Monitor-Bildschirm;

– kann man einen zweiten Prozessor aufstellen auf dem "MS"-Basis für der Berechnung der optimalen Steuerungs-Gesetzen i der Real-Time-Arbeitsweise. Wenn dieser Prozessor entfällt, arbeitet das mikroprozessorischen Optimalsteuerung-System den "starr"-eingelegten in die KTS LIUS-2 Prozessor-Platte Gesetzen nach.

In Ergänzung zu den Bezeichnungen zur Abbildung 3.20 sind solche Bezeichnungen im diesen Schema angenommen:

– MS 46.01 – Lichtleiter-Verbindungsleitung (bis 300 m), die besteht aus die Lichtleiter-Verbindungsleitung MS 46.05 und die Empfänger-Sender MS 88.01, MS 88.02;

– KS 31.11 Eingabe-Element der Frequenz-Signale von PDF-3-Gebern;

– KS 31.13 – Analog KS 31.11 – vorausbestimmt für den KS 31.11-Austausch;

– KS 52.07 – Steuerschalter des "direkten Zutritts" der Verbindung der Mikro-EDV "Elektronika 60" mit KTS LIUS-2;

– KW 27.47 – Funktions-Tastatur für Betriebsart-Eingabe, Daten-Eingabe;

– I 13 – Parallel-Austausch-Einrichtung für KS 52.07-Anschluß;

– I 12 – Vierkanale Serienmäßig-Austausch-Einrichtung für den Anschluß der Reserve-Steuerungs-Schalttafel, der Dispatcher-Verbindung, für zusätzlichen Möglichkeiten des mikroprocessorischen Systems (Gebern, standardisierten Außen-Einrichtungen).

3.2.5. Керування стріловим краном з обмежувачем моменту навантаження. Steuerung eines Auslegerkrans mit einem Begrenzer des Beanspruchungsmomentes

Wie bekannt wird die Stabilität der Fahrzeug und Raupen-Auslegerkräne durch das Gewicht der hochzuwindenden Last, den Ausleger, den Raupenabstand, den Neigungswinkel der Arbeitsdrehbühne zum Horizont, den Drehwinkel des Auslegers bezüglich der Längsachse, den Abweichungswinkel des Lastseils, auf die Senkrechte bezogen, in zweit gegeneinander lotrechten Ebenen bestimmt.

Die in den GUS vorhandenen Begrenzer des Beanspruchungsmoments für Auslegerkräne gestatten die Arbeit für den Kran bei einem minimalen Lastmoment, der die Stabilität des Krans sichert, während sich der Ausleger in der Ebene der Achse des mindesten Radaßstandes befindet. Es ist offenbar, daß dabei die Kranhebekraft auch bei allen anderen Drehwinkeln des Auslegers mangelhaft eingesetzt wird. Außerdem werden solche Faktoren wie die Neigung der Arbeitsdrehbühne bezüglich der waagerechten Ebene, Abweichungswinkel des Seiles gegen die Senkrechte überhaupt nicht berücksichtigt werden.

Darauf lenkten viele Auslandsfirmen, darunter auch die TAKRAF (in der ehemaligen DDR) ihre Aufmerksamkeit. In diesen Ländern wurde die Fertigung der Begrenzer des Beanspruchungsmoments auf der Basis der Mikroprozessortechnik, die viele Einflußfaktoren berücksichtigt, in Gang gebracht.

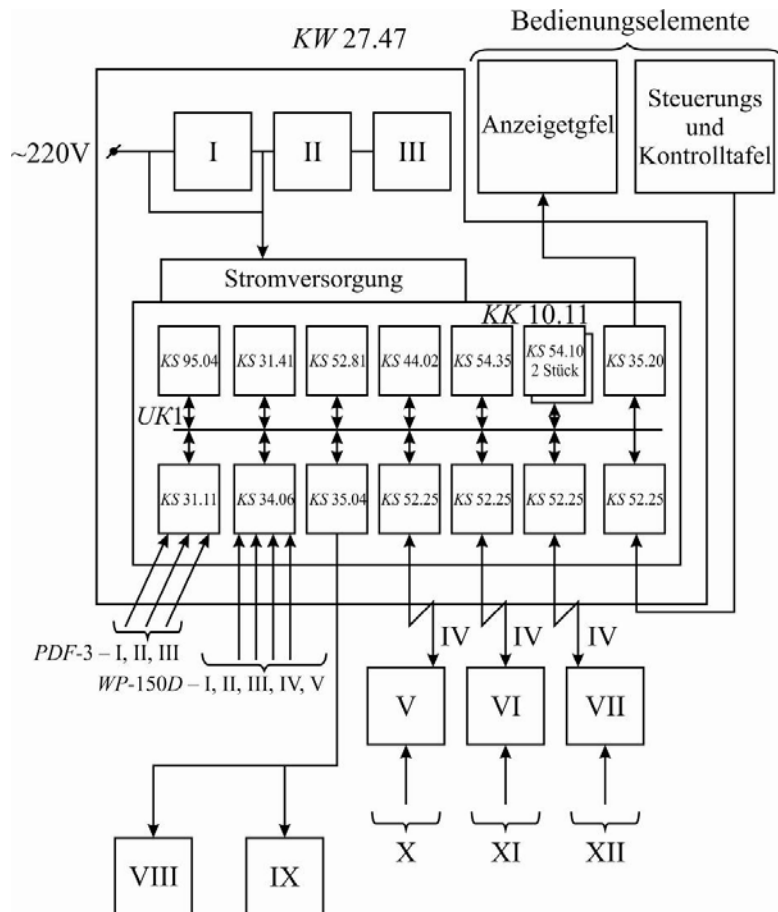


Abb. 3.21. Belastungsmomentbegrenzerbauart für Autokran auf der "KTS LIUS-2 MikroDAT"-Basis:

I – Termorelais; II – Ventilatoren-Einheit; III – Luftfilter; IV – Verbindungsleitung;
V – Steuerschalter des Plattformneigunggebers; VI – Steuerschalter des Massengebers;
VIII – Tonsignalisation; IX – Relais für Antriebssteuerung und Notfallausschalten;
X – von Plattformneigunggeber; XI – von Seilabweichunggeber; XII – von Massengeber

In der Abbildung 3.21 ist ein Begrenzer des Beanspruchungsmoments auf der Basis der einheimischen Betriebsmittel KTS- LIUS -2 "Microdat" schematisch angegeben. Zugleich mit der Stabilitätssicherung des Krans ermöglicht das vorliegende Schema, bei der Berücksichtigung verschiedenartigen Einflußfaktoren, auch gleichartige Bewegungen im Zyklus in automatisieren, Lastdämpfung, notwendige Bewegungsbahn der Last zu gewährleisten.

3.2.6. Керування краном на базі пристрою "Elektronika MS". Kransteuerung auf der Basis von Betriebsmitteln "Elektronika MS"

In der Abb.3.22 ist Struktur eines Mikrocomputers auf der Grundlage der Betriebsmittel "Elektronika MC" schematisch angegeben. Das zu erörternde Schema kann an einer beliebigen der oben besprochenen Hebekraftmaschinen, außer dem Bunker-Greifer-Umlader, eingesetzt werden.

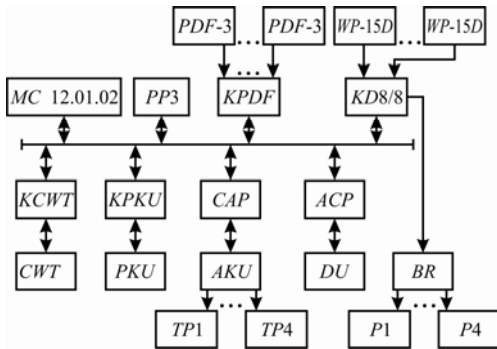


Abb. 3.22. Kransteuerungsschema auf der
"Elektronika-MS"-Basis

Es sind in der Abbildung folgende Bezeichnungen angenommen:

MS 1201.02 ist ein einplattener-16-stelliger Computer mit einer inneren operativen Speichereinrichtung (OZU 28 Kwörter), Peripherie-Speichereinrichtung – (4 Kwörter). In der Peripherie-Speichereinrichtung befindet sich der anfängliche Speiser eines angewandten Programms "Kran", Tests für die Kontrolle der Apparate von einem operativen Steuerungssystem

"Kran" (COY "Kran"):

- PP3 – eine Einplatten-Peripherie-Speichereinrichtung, welche ein angewandtes Program "Kran" in sich enthält;

- PDF – ein Controller (originelle Entwicklung) zum Anschluß von 4 Stück PDF-3;

- KD в/в – eine Standarteinrichtung für Ein-Ausgabe diskreten Signale für den Anschluß der Positionsgeber WP-15D, der Laufwerke, des Block-Relais der Kupplung mit den (nicht steuerbaren) Antrieben des Krans;

- CWT – ein Controller des Monitors (auf der Basis eines Farbfernsehers "Elektronika II 201" u.a., oder eines Schwarz-weiß-Fernsehers "Electronika 404 Д 1") einer origineller Entwicklung;

- PKU – ein Controller (orig. Entwicklung) zum Anschluß von PKU;

- PKU – ein Pult für Kontrolle und Steuerung des operativen Steuerungssystems (COY)

"Kran" (originelle Entwicklung);

- ACP – ein 4 – Kanal (man darf 2x... nehmen) – Analog-Digital-Umsetzer mit der Zeit $t_{\text{umsetz}} \leq 1 \text{ ms}$ zum Anschluß eines mechanischen Gebers (mit Lichtdioden- paaren) zusammen mit ACP der Platte I12 gewünscht – einer Reiheninterface mit dem Protokoll IRPS;

- CAP – ein Digital-Analog-Umsetzer zum Anschluß eines variablen Thyristor-Antrieb;

- CWT – ein grafischer Video-Monitor (auf der Basis des Farbfernsehers "Elektronika II 401 M");

- PKU – ein Pult für die Kontrolle und Kransteuerung;

- *AKU* – ein Analog-Kommutator-Verstärker;
- *TP1... TP4* – Thyristor-Antriebe der Hautmechanismen des Krans;
- *DU* – ein Geber für den Abweichungswinkel des Seils (in zwei Ebenen);
- *BR* – ein Block-Relais der Einschaltung der Antriebe *TP1... TP4* (für unregelbare Wechselstrommotoren).

Vorteile der zu betrachtenden Betriebsmittel im Vergleich zum KTC - ЛНУС 2:

- eine höhere Arbeitsproduktivität des Mikrocomputers im Vergleich zum KTC - ЛНУС 2;
- Einsatzmöglichkeit einer leistungsfähigeren Software;
- Es sind die Konstruktionsabmessungen bedeutend kleiner;
- Es ist möglich, bei unbedeutenden Umarbeitungen des Steuerungssystems und der programmierten Software zu den Mikro-Computern auf der Basis der Serie 588 überzugehen, das ist bequemer, weil die Verbrauchsleistung solcher Computers um 1.000 mal kleiner ist, deshalb kann man Gleichstrom von einer Akkumulator-Batterie als Speisung gewährleisten (dabei entfallen alle Probleme, durch Netzstörungen hervorgerufen), und es ist auch möglich, in einem breiteren Temperaturbereich von -50°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ zu arbeiten.

3.3. Системи керування, які забезпечують реалізацію оптимальних характеристик.

Steuerungssysteme, die Realisierung optimale Charakteristika gewährleisten

3.3.1. Дотримання навантажень у трансмісіях і конструкціях. Einhaltung von Beanspruchungen an den Wellenleitungen und Konstruktionen

Das Steuerungssystem eines hydrostatischen regelbaren Niedermoment-Antriebs vom Bewegungsmechanismus eines Brückenkrans ist für die Begrenzung und Einhaltung der Beanspruchungen an den Wellenleitungen der Krankonstruktionen während der Übergangsvorgänge und des gleichmäßigen Ganges bestimmt. Hauptelemente eines hydrostatischen Antriebs sind: als Antrieb – ein elektrischer Asynchronmotor vom Typ AO, eine regelbare Pumpe vom Typ 11Д und ein niedermomentener Hydraulikmotor vom Typ 11М.

Die Block-Schaltung des Steuerungssystems ist in der Abb. 3.23 angegeben. Hauptsteuerungselemente sind:

Steuerungsgriff 1, auf derselben Achse deren ein Selsyn-geber 2 ist, 3 ist Selsyn-Empfänger, 4 – elektronischer Verstärker, 5 – reversierbarer Elektromotor, 6 – Trenntransformator, 7 – ein Kurvenlineal mit der Rolle, 8 und 9 – Druckgeber, 10 – Eingebener der

maximalen Beanspruchung, 11 – automatische Steuerungseinrichtung, 12 und 13 – elektronische Schlüssel, 14 – Operationsverstärker, 15 – Modulator.

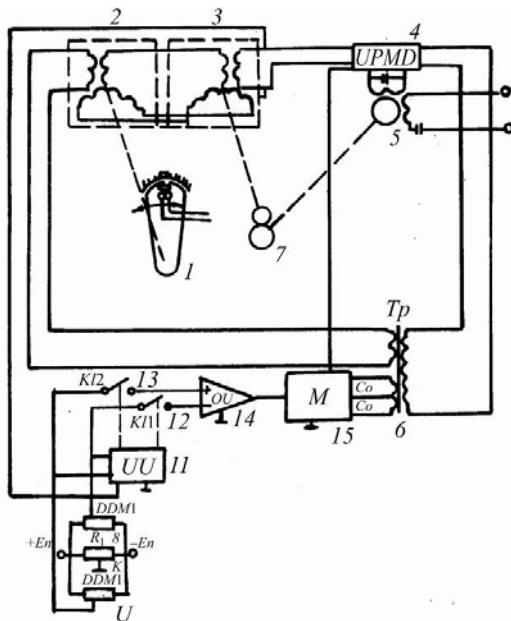


Abb. 3.23. Schema der Hydroantriebssteuerung mit Stabilisation der Kräfte in der Transmission und in der Stahlkonstruktionselementen

In der Ausgangslage steht der Steuerungsgriff 1 (nach der Schaltung) senkrecht, Gleitstücke der Potentiometer von Druckgebern 8 und 9 liegen in der Lage links (in neutraler Lage sind die Steuerungsgriffe des Drucks in beiden Rohrleitungen gleich und minimal). Die Lage des Gleitstücks des Einstellers der maximalen Beanspruchung 10 wird durch den eingegebenen Arbeitsdruck bestimmt, der jener Beanspruchung proportionell ist, welche an den Wellenleitungen des Bewegungsmechanismus der Krankonstruktion entsteht. Die elektronischen Schlüssel sind ausgeschaltet, die an den Brücken DDM1 (8–10) und DDM2 (9–10) abgemessene Spannung ist positiv.

Bei der Bewegung des Steuerungsgriffes entweder im Uhrzeigersinn oder in Gegengedrehrichtung dreht sich auch die mit ihr verbundene Achse des Selsyn-Gebers 2 mit. Es entsteht ein Verstimmungswinkel zwischen dem Selsyn-Geber 2 und dem Selsyn-Empfänger 3, und als Folge entsteht am Eingang des elektronischen Verstärkers ein Signal, dessen Phase von dem Drehsinn des Griffes 1 abhängt, und die Amplitude – von der Größe des Verstimmungswinkels.

Das Signal, an die automatische Steuerungseinrichtung 11 und den reversierbaren Motor 5 gelangend, löst die Arbeit der Einrichtung aus und gibt Signal dem reversierbaren Motor, welcher Wiege der Hydraulikpumpe dreht, und zusammen mit ihr über das programmierte Kurvenlineal auch die Rolle 7, die Achse der Selsyn-Empfängers, den Verstimmungswinkel nach dem Null zu führen strebend. Bei der Arbeit des hydraulischer Antriebs vergrößert sich der Druck in einer der Rohrleitungen, dabei hängt der Druck von der Drehgeschwindigkeit nicht ab, sondern wird durch die Beanspruchung bestimmt, die der Antrieb zu überwinden hat, um die Bewegung des Krans zu sichern.

Für die Bestimmtheit der Arbeitsbeschreibung des Schemas nehmen wir an, daß der Druck in der Rohrleitung steigt, welcher durch den Druckgeber 8 (DDM1) gemessen wird, und sein Gleitstück bewegt sich von links nach rechts (nach dem Schema), proportionell zu den Beanspruchungen an den Wellenleitungen der Kransmetallkonstruktion. Dabei wird die Spannung, die an der Brücke DDM1-1 abgemessen wird, kleiner werden. Wenn die Spannung

gleich Null sein wird, d. h. das Gleitstück *DDM1* die gleiche Lage wie auch das Gleitstück *R1* einnimmt, d. h. der Druck in der Rohrleitung dem Wert des eingegebenen gleich wird, spricht die Steuerungseinrichtung *11* an und schließt den Schlüssel *12* ein, den Signaldurchgang von der Brücke *DDM1–R1* über den Operationsverstärker *14* zum Modulator *15* gestattend. Der Operationsverstärker *14* dient zur Signalverstärkung und zum Umsetzen ihrer Polarität (das Signal, welches über den Schlüssel *12* durchgeht, ändert seine Polarität, und das Signal, das den Schlüssel *13* passiert, ändert sie nicht).

Der Modulator *15* setzt die Gleichspannung in das Signal mit der Frequenz 50 Hz, dessen Phase von der Spannungspolarität abhängt, welche von dem Operationsverstärker kommt, und die Amplitude – von der Größe um.

Somit wird das Signal am Ausgang des Modulators *15*, indem der Druck (Beanspruchung an der Wellenleitung) im System dem eingegebenen gleich ist, fehlen und der reversierbare Motor *5* wird nur das Signal bearbeiten, welches vom Steuerungsgriff (des Selsyn-Gebers *2*) bekommen wird. Da aber der Schlüssel *12* eingeschaltet ist, wird eine beliebige Änderung des Drucks in der Rohrleitung, d. h. die Gleitstückslage von *DDM* (Beanspruchung an den Wellenleitungen) zum Entstehen eines Signals am Ausgang des Modulators *15* führen wird, welches, sich mit dem Signal vom Steuerungsgriff *1* am Eingang des elektronischen Verstärkers *4* algebraisch addierend, wird den Motor *5* auf solche Weise drehen, damit der Kran bei der Drucksteigerung in der Rohrleitung (der Beanspruchungen an den Wellenleitungen und den Metallkonstruktionen) gebremst wird, sondern bei der Abnahme auf schnelleren Gang gebracht wird. Die Beanspruchung wird auf dem eingegebenen Regel eingehalten werden. Der Vorgang wird in der ganzen Zeitspanne des Anfahrens dauern.

Im Laufe des gleichmäßigen Fahrens bauen sich die Beanspruchungen an den Wellenleitungen und den Metallkonstruktionen ab. Das System wird für die Zeit des gleichmäßigen Fahrens abgeschaltet. Es geschieht folgenderweise: Das Erreichen der eingegebenen Geschwindigkeit durch den Kran wird durch Verkleinerung des Verstellungswinkels zwischen dem Selsyn-Geber *2* und dem Selsyn-Empfänger *3* bis zum Null bestimmt, d. h. bis zum Augenblick, in dem das Signal am Eingang des Selsyn-Empfängers *3* einem Null gleich wird. Das Signal gelangt an die Steuerungseinrichtung *11* und die letzte schaltet den Schlüssel *12* aus und die Schaltung hört auf, auf die Verkleinerung an den Kranelementen zu reagieren.

Beim Kranbremsen wiederholen sich alle erörterten Vorgänge nur nach dem Einschalten des Schlüssels. Die Druckvergrößerung in der Rohrleitung (der Beanspruchungen an der Kran konstruktion) ruft die Reduzierung der Bremsintensität hervor, und der Druckabbau ruft die Steigerung der Intensität hervor (Abb. 3.24, 3.25, 3.26).

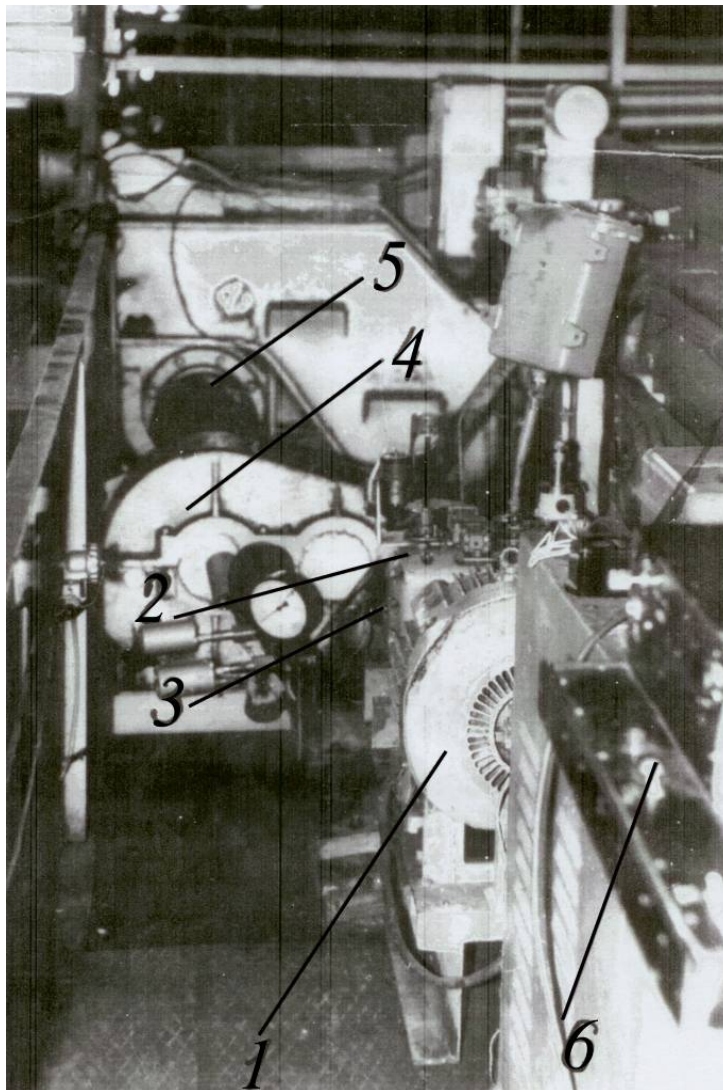


Abb. 3.24. Brückenkran mit der Ladekapazität 30/5 t der gentrenten hydrodynamischer Antrieb der Fahrvorrichtung vom Brückenkran und System der automatischen Abdämpfung.

Kharkiver Turbinen Werk, 1981:

- 1 – Eletromotor; 2 – Teil des Steuerungssystems; 3 – Pumpe;
4 – Reduzierantrieb; 5 – Transmissionswelle; 6 – Steuerungssystem

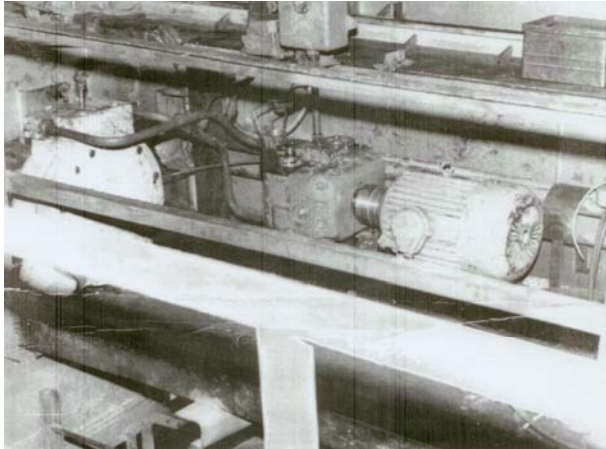


Abb. 3.25. Gentreter Steuerungs-Hydroantrieb mit den hohen Momenten der Motoren der Fahrvorrichtung vom Brückenkran mit der Ladekapazität 15/3 t. Uzlowskiy Werk für die Produktionen der Kranen, 1973

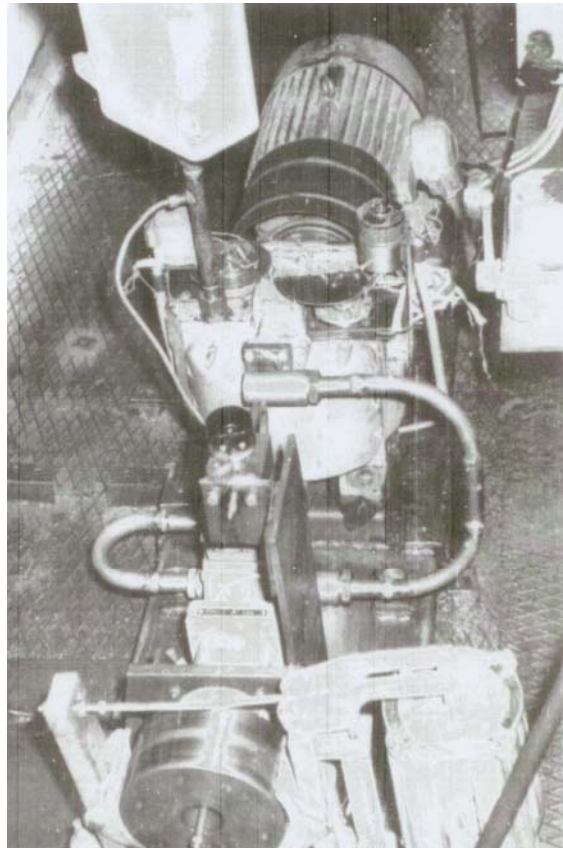


Abb. 3.26. Fahrvorrichtung vom Brückenkran mit der Ladekapazität 15/3 t mit dem gentrenten Steuerungs-Hydroantrieb und den Motoren mit den nidriegen Momenten. Uzlowskiy Werk für die Produktionen der Kranen, 1972

3.3.2. Обмеження кута відхилення вантажного каната. Begrenzung des Abweichungswinkels des Lastseiles

Das Steuersystem ist für die Begrenzung des Abweichungswinkels des Lastseiles und der Löschung der Lastschwingungen bei der Steuern von der Bewegungseinrichtung des Brückenkranes mit dem regulierbaren hydrostatischen Antrieb vorgesehen.

Die Blockschaltung des Steuersystems ist auf der Bild 3.27 angegeben. Die Grundelemente sind: Steuerarm 1, Selsyn-Geber 2, Selsyn-Empfänger 3, elektronischer Verstärker 4, Reversier-elektromotor 5, Verteilungstransformator 6, Programmschablone mit Rolle 7, Sel-syn-Geber 8 und Selsyn-Empfänger 9. Die Selsyne 8 und 9 sind für die Umwandlung des

Abweichungswinkels des Lastseiles in Steuersignale des Reversierelektromotors 5 vorgesehen. Die Achse des Selsyn-Gebers 8 tritt über die Kardanaufhängung mit dem Seil mechanisch in Verbindung, die Achse des Selsyn-Empfängers 9 – ist in den Bremsbacken gespannt.

In der Ausgangsstellung, wenn das Lastseil in der vertikalen Lage ist gleich der Regelabweichungswinkel zwischen Selsynen 8 und 9 der Null. Folglich das weitere Signal für den Reversier-elektromotor 5 auch fehlt. Die Regulierung des Regelabweichungswinkels verwirklicht mittels des Achsendrehens des Selsyn-Empfänger 9 in den Bremsbacken.

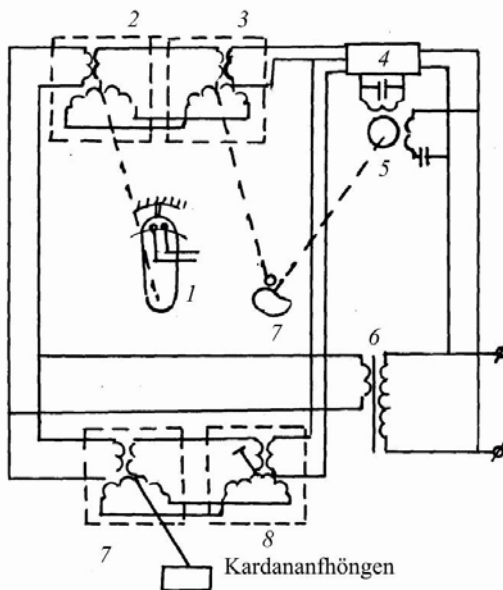


Abb. 3.27. Schema der Hydroantriebssteuerung mit Lastseilabweichungswinkel-Begrenzung

Bei der Abweichung des Lastseiles von der Vertikale dreht die Achse des Selsyn-Gebers 8 über die Kardanaufhängung. Dabei erscheint der Winkel zwischen Selsynen 8 und 9 und, folglich, am Eingang des Verstärkers 4 erscheint das Zusatzsignal der Steuerung, dessen Phase von der Vertikale abhängt, und die Amplitude ist der Größe dieses Winkels proportionell.

Bei dem Drehen des Steuerarmes 1 dreht die Achse des Selsyn-Gebers 2 und am Eingang des Verstärkers 4 erscheint das Signal, dessen Phase von der Richtung und die Amplitude – von der Größe des Regelabweichungswinkels zwischen den Selsynen 2 und 3 abhängt. Der Kran beginnt die Bewegung in die Richtung, die der Steuerarm vorgibt, und die Last bleibt den Kran unter Wirkung der Tragheitskraft nach. Beim

Fehlen der Abweichungswinkel-sbeschränkung des Lastseiles weicht die Last auf einen größeren Winkel ab, was zum Ende zu den Lastschwankungen führt. Während der Arbeit der Schaltung erregt die Lastabweichung die Erscheinung des Zusatzsignals zufolge der Regelabweichung der Selsune 8 und 9, das mit dem Signal der Regelabweichung der Selsyne 2 und 3 infolge algebraisch addiert, bremst die Kranbewegung und damit zwingt die Last den Kran zu "ein-zuholen" in solcher Weise, damit der Abweichungswinkel des Seiles weniger als der vorgegebene Winkel wurde. Erfüllt die Last die Schwin-gungsbewegungen, so "überholt" sie nach einiger Zeit den Kran, dabei das Steuersignal von den Selsynen 8 und 9 wechselt seine Phase, addiert algebraisch mit dem Signal der Selsune 2 und 3 und beschleunigt die Kran-bewegung, dabei zwingt ihn die Last "einzuholen". Das führt zum Effekt der mechanischen Dämpfung, da die Geschwindigkeit des Kranes verhältnismäßig dem Mittelwert phasengleich mit den Lastschwingunen wechseln wird. Die Lastschwingunen stellen ein. Der Kran bewegt sich in die Richtung und mit der Geschwindigkeit, die mittes des Steuerarmes 1 ohne Lastschwingungen vorgibt.

Ähnlich verwirklicht der Vorgang während der Kranbremsung. Der Kran beginnt die Bremsung nach dem Signal vom Steuerarm, die Last überholt den Kran, aber das Signal der Selsyne 2 und 3 zwingt den Kran die Last "einzuholen", dabei erlaubt sich der Abweichungswinkel des Lastseiles von der Vertikale nicht zu vergrößern.

Erfüllt die Last beim Halten des Kranes die Schwingungen (der Arm ist in der Ausgangsstellung), führt das Regelabweichungssinal, das von Selsynen 8 und 9 bekommt, zum Reversierelektro-motor 5, der auf die Pumpe einwirkt und den Kran in Solche Richtung zu bewegen zwingt, wohin die Last abweicht; das führt zur Verkleinerung des Abweichungswinkels des Lastseiles, d.h. der Kran folgt die Lastschwingungen. Das führt zur schnellen Löschung der Lastschwingungen an der biegsamen Aufhängung.

3.3.3. Запобігання кінематичного перекосу крана. Abwendung der kinematischen Kranschiefstellung

Die Schaltung ist für das Entfernen der Brückenkranschiefstellung im Plan vorgesehen, die von der regulierbaren hydrostatischen Einzelantrieben der Bewegungs-einrichtung einrichten.

Die Blockschaltung des Steuersystems ist auf dem Bild 3.28 angegeben. Die Rotoren der Selsyn-Geber 2 und 21 sind mit dem Steuerarm 17 koaxial angeordnet, der die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung des Kranes im Ganzen bestimmt, und die Rotoren der Selsyn-Geber 1 und 20 sind mit dem Steuerarm 15 koaxial angeordnet, der an der gegenseitigen Seite des Kranbalkens anordnet. Der Arm spannt die Rolle 14 zum Kopf des Krangleises mittels der Feder 16, die während ihrer Bewegung alle Abweichungen des Kranes vor der Lade folgt, bei der der Kran im Plan dem Krangleis senkrecht ist.

Der Selsyn-Transformator ist an den Pumpenkörpern angestellt. Die Rotoren der Selsyne 4 und 6 sind festgestellt, und die Rotoren der Selsyne 3 und 7 sind mit der Programmschablone 11 verbunden, die an der Welle der Kraftsteuerung entsprechender Pumpen mittels Rollen 12 angeordnet. Die Programmschablonen versorgen die Synchrondrehung von zwei Hydromotoren, sogar mit verschiedenen Geschwindigkeits-Charakteristiken.

Die Steuerspannungen von den Statoren der Selsyn-Transformatoren werden an den Eingang der Verstärker 5 und 9 abgegeben. Die Statorwicklungen der Selsyn-Geber und die Erregerwicklungen der Servomotoren 6 und 10 werden von Transformator gespeist. Die Steuerwicklungen der Servomotoren sind den Ausgang der Verstärker angeschlossen.

Der Steuerarm 17 mit der Sperrklinke 19 ist mit dem Knopf 18 für das Schließen der Kontakte koaxial angeordnet, die mit den Anlassern der Antriebsselektromotoren in Verbindung treten, und kann auf den Winkel β nur nach dem Eindringen der Sperrklinke drehen, die auf den Knopf drückt.

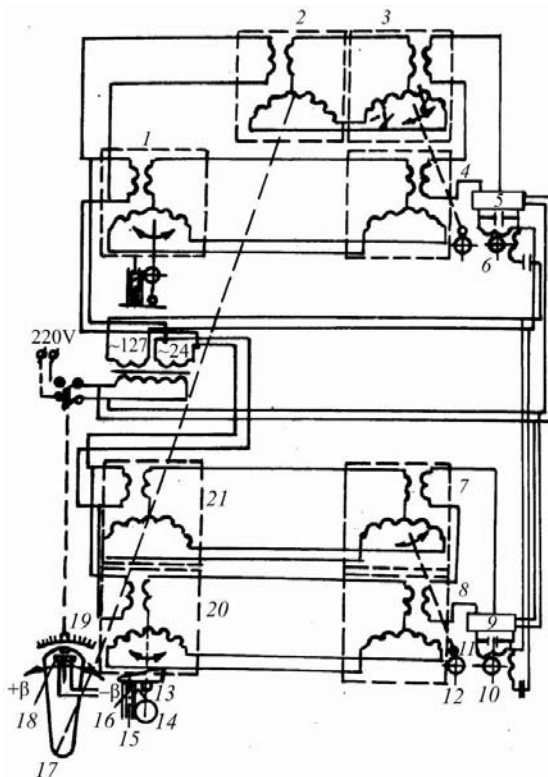


Abb. 3.28. Block-Schema des Steuerungssystems für Vorbeugung und Beseitigung der kinematischen Verkantungen

Die Spannungen, die an den Eingang der Verstärker von den Statorwicklungen der Selsyn-Transformatoren, abgegeben werden, sind die Funktionen drei Winkel: β – Position des Steuerarmes; ϕ – Position der Kranbrücke im Plan verhältnismäßig des Krangleises; γ – Abweichung des Rotors des Selsyn-Transformators von der Nullposition.

Ist der Kran dem Krangleis senkrecht und gleich der Drehwinkel des Steuerarmes der Null, ist das System in der Ausgangsstellung ($\beta - \gamma = 0, \phi = 0$) und sind keine Steuerspannungen am Eingang der Verstärker. Der Kran befindet sich im unbeweglichen Zustand.

Wenn der Kran in der Ausgangsstellung schief geworden ist ($\phi \neq 0$), so erzeugen die Selsyn-Geber 1 und 20 Gegenphasensteuer-

wirkungen (verhältnismäßig einander), die sich verstärken und an den Steuerwicklungen der Servomotoren abgegeben werden. Die Servomotoren drehen die Pumpenwiegen in eine Seite

von der Nullposition, was die Umdrehung der Hydromotorwelle (Antrieblaufräder) in gegenseitigen Seiten ($\phi \rightarrow 0$). Der Kran ist in der Position senkrecht dem Krangleis.

Beim Drehen des Steuerarmes auf den Winkel β drehen sich die Rotoren des Selsyn-Gebern 2 und 21 auf denselben Winkel auch. Am Eingang der Verstärker erzeugen sich phasengleiche Steuerspannungen proportionell dem Regelabweichungswinkel $\beta - \gamma$, die sich verstärken und an den Steuerwicklungen der Servomotoren abgegeben werden. Sie drehen die Pumpenwiegen in gegenseitige Seiten, was die Umdrehung der Hydromotorwellen (Antrieblaufräder) in eine die vorgegebene Richtung mit nötiger Geschwindigkeit zu bewegen.

Erscheint die Kranschiefstellung während des Anfahrens, erzeugen die Selsyn-Gebern 1 und 20 Zusatzregelabweichungsspannungen. Die Steuerspannungen, die an den Ausführungservomotoren abgegeben werden, sich den algebraischen Betrag der Spannungen vorstellen, die den Regelabweichungswinkeln $\beta - \gamma$ der Kranschiefstellung im Plan + proportionell sind. Die Spannung, die an einem Stellmotor abgegeben wird, vergrößert sich, und an einem anderen – verkleinert sich, was, erstens, zur Zunahme der Umdrehungsgeschwindigkeit der Antrieblaufräder führt, und, zweitens, zur ihrer Verkleinerung. Die Brückenschiefstellung des Kranes beseitigt sich.

Während des gleichmäßigen Laufes $\beta - \gamma = 0$ verwirklicht die Beseitigung der Schiefstellung ähnlich dem untersuchten Fall beim unbeweglichen Kran.

Die Anwendung der Selsyn-Gebern, die an den gegenseitigen Seiten des Endbalkens an einer Kranseite als Gebern der Kranbrückenposition in Plan verhältnismäßig des Krangleises, schließt die Möglichkeit der Kranverkeilung, des Anfahrens der Spurkanzen der Laufräder auf die Krangleise und des Verschleißes der Laufräder (Abb. 3.29, 3.30, 3.31).

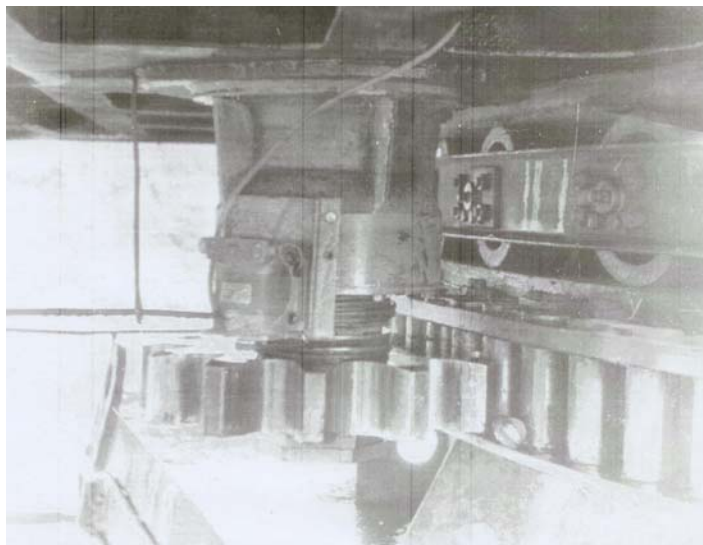


Abb. 3.29. Hydrostatischer Antrieb des Drehwerkes vom Portalkran mit der Ladekapazität 10 t mit dem automatischen Steuerungssystem. Kiewer Binnenhafen, 1969



Abb. 3.30. Portalkran "Kirov" mit der Ladekapazität 10 t mit dem automatischen Steuerungssystem.
Kiewer Binnenhafen, 1969

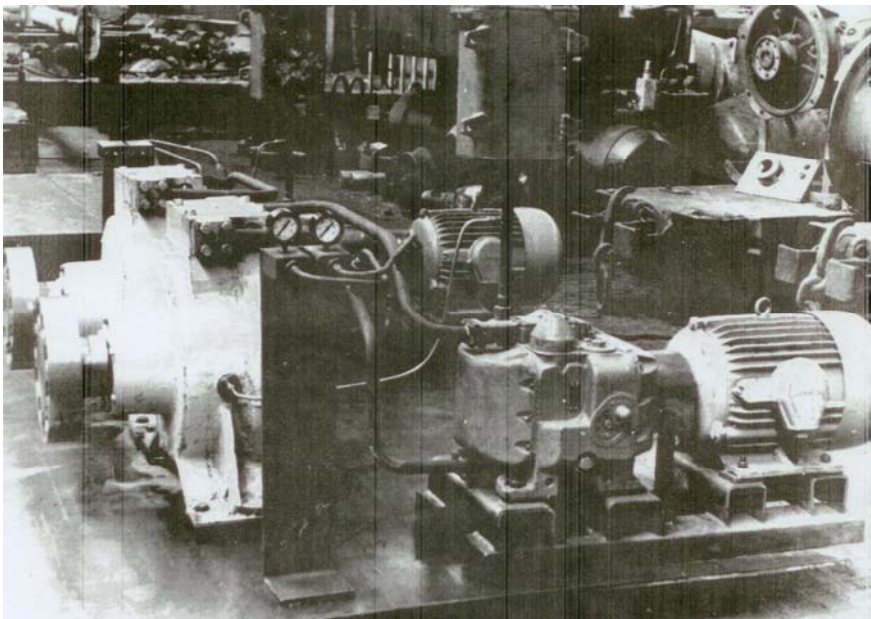


Abb. 3.31. Gentreter und räumlicher Steuerungs-Hydroantrieb der Fahrvorrichtung vom
Brückenkran mit der Ladekapazität 15/3 t. Uzlowskiy Werk für die Produktionen der Kranen, 1973

Die Kontrollfragen 3

1. Welche Vorteilen der Mikroprozessorsteuerung hat Hebe- und Fördertechnik?
2. Nennen Sie bitte, die Vorteilen vom Steuerungs- und programmierbarer Mikro-computer MKP-1-48-2.
3. Nennen Sie bitte die Verwendung der Hauptbestandteilen des Steuerungssystems von der Elektrokatze und dem Greiferbrückenkran mit der Ladekapazität 5 t.
4. Nennen Sie bitte, die Verwendung der Hauptbestandteilen des Steuerungssystems des Turmkranes mit dem hydrodynamischen Antrieb und mit der Ladekapazität 5 t.
5. Welche Variante des Steuerungssystems von Kranen mit den adaptiven Elementen und der objektorientierten Programmierung wurden betrachtet?

4. БУДОВА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ СКЛАДСЬКИХ КРАНІВ. AUFBAU DES AUTOMATISIERTEN STEUERUNGSSYSTEMS FÜR LAGERPLATZKRÄNE

4.1. Функції та види робіт системи керування. Funktionen und Betriebsarten der Steuerungssystemen

Das System der automatisierten Optimalsteuerung (SAOS) für Lager (d. See- und Binnenhafen, Hüttenwerke, Rohstoff- und Halbzeuglager d. Schwerindustrie u. a. m.) bezweckt:

- Aufbau des Arbeitsablaufs der Kranwirtschaft unter schwierigen meteorologischen und anderen Bedingungen industrieller Großbetriebe zwecks Steigerung der technologischen Leistung der Ausrüstungä
- Steigerung der Arbeitsproduktivität der Arbeitskräfteä
- Reorganisierung und Verbesserung des Arbeitsablaufsä
- Steigerung der Arbeitsproduktivität unerfahrener Kranführer (Bedienungskräfte) bis zum Niveau hochqualifizierter Arbeitskräfteä
- gesteigerte Maschinenbelegungä
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Kranführernä
- Steigerung der Leistung jedes einzelnen Kranes durch Zeitersparung am genauen Abhalten der Last in einem festgelegten Punkt ohne Schwingung der Lastä
- Möglichkeit des mannlosen Dauerbetriebs des Krans in automatisierter Betriebsartä
- gesteigerte Betriebssicherheit infolge der Berücksichtigung der Windbelastung und der Begrenzung des Lastmomentes in jedem Zeitpunktä
- Wahl rationellster Positionierung jedes Krans bzw. rationeller Bewegungsbahn einer Last.

In bezug auf seine funktionelle Zweckbestimmung gehört das SAOS zum automatisierten Steuerungssystem des technologischen Vorganges (ASSTV) in der Kranwirtschaft eines Lagers und kann mit anderweitigen ASSTV der Unternehmungen gekoppelt werden, dient als Informationsquelle für das automatisierte Steuerungssystem der

Unternehmung (ASSU) und gehört zum Komplex unter der Voraussetzung deren gegenseitigen Kopplung.

In architektonischer Hinsicht wird die SAOS als Komplex technischer Mittel, erzeugnis-gebunden auf Lagerplatzkräne (unter Berücksichtigung des etwaigen Einflusses von umgebenden Medium, der gegenwärtig für den industriellen Einsatz vorhandenen Geber verschiedener Art und der elektrischen Antriebe) und aufgebaut auf der Grundlage der auf der Mikroprozessortechnik basierten Rechenmittel, welche in den Produktionsstätten der

Ministerien für Gerätebau und für die elektrotechnische Industrie erzeugt werden, konzipiert. Die entsprechenden Rechenmittel der standardisierten Ausführung werden nachgearbeitet, um sie den Betriebsbedingungen des SAOS anzupassen. Die fehlenden Elemente (nicht vorhanden in der Nomenklatur inländischer Hersteller bzw. nicht geeignet für den Einsatz im SAOS (aus konstruktiven Gründen, infolge der Abmessungen u.a.m.) werden als originelle Konstruktionen erarbeitet. Die Hauptanforderungen an die neu zu erarbeiten Elemente sind mit denjenigen an Aggregatkomplexe zu koordinieren, wobei die letztgenannten die aus einzelnen Geräten bzw. Blocks zusammengesetzten und funktionell vollendeten Erzeugnisse beinhalten, welche für eine Zusammenarbeit in verschiedenartigen Kombinationen, abhängig von Betriebsbedingungen, ausgelegt sind. Dadurch wird technische Kompatibilität der Erzeugnisse infolge der Unifikation der Eingangs- und Ausgangssignale, konstruktiver Ausführung, Betriebsbedingungen, Abstimmung meteorologischer und anderer Kennwerte gesichert.

Die Auswahl konkreter Architektur eines bestimmten Lagers sieht die Möglichkeit voraus, die Architektur eines SAOS ohne jegliche Nacharbeitung gänzlich bzw. teilweise anzuwenden,- unter Benutzung der das SAOS bildenden Apparatur, dessen Systemsoftware (SSW) des größeren Teils dessen Anwendersoftware (ASW) und entsprechend nachgearbeiteter Spezial-Anwendersoftware (SASW), wobei die letztgenannte die Nuancen eines konkreten Lagers zu berücksichtigen, hat, ja bei heutiger Unmenge verschiedener Lagertypen ein unifiziertes System deren Organisation nicht existiert,- abgesehen davon, daß unter dem Oberbegriff „industrielles Lager“ recht entlegene Arten der einschlägigen Industrieobjekte gemeint werden.

Für die Lösung dieser Aufgabe wird eine dreistufige hierarchische Struktur (Abb. 4.1) technischer Mittel vorgeschlagen, deren jede Stufe eine Lokale Staffel des ASSTV und deren Detaillierungen auf Niveau eines lokalen Subsystems darstellt. So wird die Anwendung der Mittel des ESER bzw. des Systems elektronischer der bestehenden Rechenzentren von Unternehmungen (als separater RZ, ASSTV, ASSU) in der Funktion der obersten Stufe vorgesehen. Die Architektur erwähnter I. Stufe wird im weiteren nicht betrachtet, weil solche RZ mit ihrer eigenen Architektur und SSW sowie anderen leistungsfähigen SW bereits bestehen und es einer Unternehmung ermöglichen, ihre SASW für die Herstellung einer Verbindung mit den SAOS der II und III lokaler Staffeln aus eigener Kraft nachzuarbeiten. Dabei wird als Norm die Ausführung gegenseitiger Verbindung zwischen der I, II und der III Stufen mittels standardisierter Datenübertragungsleitungen mit dem Protokoll eines Informationswiederauffindungssystems betrachtet, die gegenwärtig die Anwendung eines Zweidraht-Nachrichtenübertragungskanal vom Typ „Elektronika MS 4101“ u. a. m. vorsieht.

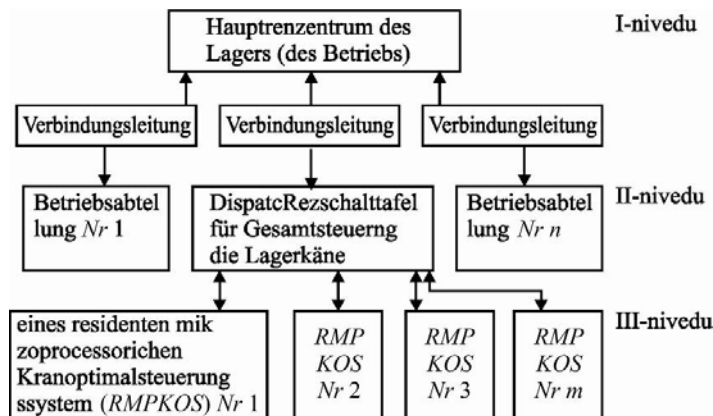


Abb. 4.1. Allgemeines Strukturschema eines automatisierten Optimalsteuerungssystems für Lagerkranen

Es werden nachstehende Gebertypen angewendet angewendetü Positiongeber Typ KBL, KBBG, vorgesehen für Signalgabe an eine MikroERM über das Passieren durch einen sich bewegenden Kranmechanismus der Kontrollpunkte längs einer Bewegungsbahn am Anfang und Ende wahrscheinlicher Bewegungskurve. Für einige einfachere Systeme der Kransteuerung (insbesondere für diejenigen der Roboterkräne) erweist sich die Anwendung einer bestimmten Zahl solcher Geber (bis max. 32 bzw. 64) als genügend und schließt die Notwendigkeit der Anwendung anderer Gebertypen ausä dadurch wird die Apparatur des SAOS wesentlich vereinfacht.

Fahrtweggeber Typ GLAP, die eine genaue Messung des Fahrweges beliebiges Kranmechanismus sowie Möglichkeit der Berechnung durch eine MikroERM der Geschwindigkeit sowie Beschleunigung jedes jedes der Kranmechanismen im realen Zeitmaßstab (RZM) sichernä die ermöglicht, komplizierte Steueralgorithmien des Kranbetriebs, bestehend in der Korrektur und Ermittlung optimaler Bewegungskurve der Last und der der Kranmechanismen sowie in der Realisierung optimaler Steuerungsgesetze der Bewegung von Kranmechanismen in das SAOS "hineinzulegen".

Es können bis 5 solcher Geber auf einem Kran, u.z. auf dem Krandem Katz-, sowie dem Krandrehwerk, dem Auslegerhubwerk, der Ausgleichsrolle und der Schließtrommel installiert werden. Geber der Lastseilablenkungswinkels (4), der eine originelle Erarbeitung darstellt, ermöglicht die Realisierung der Gesetze optimaler Steuerung von Kranmechanismen, die in den Festspeicher der MikroERM eingegeneb bzw. in errechnet werden. Im großen und ganzen stellt dieser Geber eine recht komplizierte mechanisch-elektronische Einrichtung dar, welche eine spezialisierte MikroERM beinhaltet. Der Geber übermittelt über eine Datenübertragerleitung an die zentrale MikroERM des SAOS der III. Stufe die Information in der Form einer binären Kode, die die Größe des Ablenkungswinkels des Lastseils in orthogonalen Koordinaten, die Geschwindigkeit und Beschleunigung der Ablenkung des Lastseils

innerhalb eines Zyklus v.l s darstellt. Geber der Masse einer Last (5) stellt eine standardisierte Konstruktion dar, entwickelt in Odessaer Polytechnischen Institut, dar. Er sichert die Ermittlung der Masse einer in Interesse der Organisation einer optimalen Steuerung, des Betriebs des Lastmomentbegrenzers, der Abwägung der umzuladenden Last mit nachfolgender.

Der mittlere Lokalstand COY – ist das Schaltdispatcherpult für Kpne - Manipulatoren (Bild 4.2), die ohne Operateuren – Kranführer arbeiten, oder Manipulator – Krane, die in der automatischen Arbeitsweise zu arbeiten fähig sind, aber die periodische Einmischung eines Menschen – Operateurs – Kranführers erfordern, wo es unmöglich ist einen Menschen durch ein Automat der Kompliziertheit der Arbeiten oder zur Zeit existierender Arbeitstechnologie wegen zu ersetzen, und diese Manipulator- Krane erfordern auch die Krane, die vollständig unter Steuerung eines Operateurs – Kranführers auf komplizierten und genauen Arbeiten in die Überlastung von Lasten, aber mit "der Unterstützung" COY der III. Stufe arbeiten, oder ein Schaltdispatcherpunkt (einschließlich zwei und mehr Dispatcherpulte und ein und mehr technische Pulte der Vorbereitung von Programmen und Angaben für die II und III Komplexe COY) – das alles darstellt, von einer Seite, das lokale Mikroprozessornets der sternartigen Architektur, in ihrer zentralen Baugruppe befindet sich das Schaltdispatcherpult, und in den Baugruppen der Strahle – COY des III. Standes – befinden sich residentere Mikroprozessorsysteme (PMIC), die unmittelbar am Kran sind. Von anderer Seite, der II lokale komplex darstellt das Netz von Mikro- und Minizechnern (CM und MC Rechner) der Speicherzellestruktur mit unvollständiger Verbindung, wo CGJ des lokalen Netzes Tup DECNET ausgenutzt wird. Vom Standpunkt aus der Reservehaltung der Schaltdispatcherpulte, der Vereilung der funktionellen Aufgaben der Steuerung von Krangruppen arbeitet jedes Schaltdispatcherpult mit einigen lokalen Front-end-Teilen des III. Standes und hat Möglichkeit die Funktionen im innern neu zu verteilen. Das Beispiel des lokalen komplexes des II. Standes (als die primäre Speicherzelle dieses Standes) ist im Bild 4.2 angegeben, wo im Bestand ein Mikrorechner als Dispatcherpult (1) mit seinen Peripherie-Dienst und ein Mikrorechner des technologischen Pultes für die Vorbereitung von Programmen und Angaben (15), die zwischen ihnen mittels des standartisierten Übertragungsleitung mit dem Protokoll IPRS verbinden, eintreten. Als solche Mikrorechner sind folgende: "Elektronika 60", ДБК-2М, ДБК-3М, ДБК-4, "Elektronika MS 1211", "Elektronika MS 1212", KTS ЛНУС-2, "MukroDAT" oder CM ЭВМ Typ CM3, CM4, CM 1420, CM 11600, CM 100/25, CM 1800, "Elektronika 79", "Elektronika 82" u.s.w.

Außerdem man setzt die Ausnutzung der spezialisierten Mikrorechner (2, 3, 12) voraus, die auf die analogen Mittel von MCBT aufgebaut sind und nach MCBT für die Bedienung der grafisehen Farbsichtgeräte und für die Bedinung der lokalen Frond-end-Teile des III. Standes der Krane-Manipulatoren arbeiten, die ohne Operateur-Kranführer die spezialisirten Programme wählen (12) (feste Pläne der koordinierten Steierung).

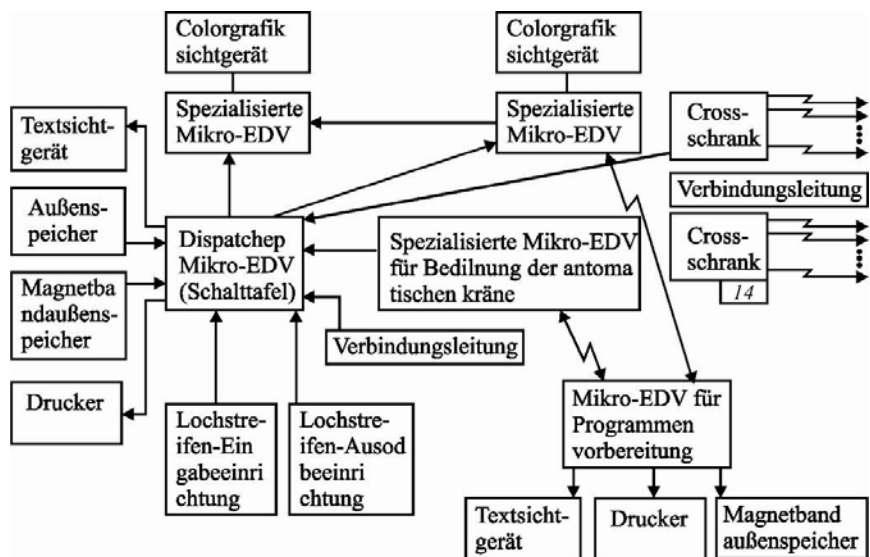


Abb. 4.2. Allgemeines Strukturschema einer Dispatcherschalttafel

Das "vereinfachte" gesamte Strukturschema (Bild 4.3, 4.4) des niederen lokalen Standes COY (der III. Stand) ist auf Mittel *MC*, *BT* (ein und mehr universale spezialisierte Mikrorechner), auf Steuerungsmittel und Einrichtungen der Eingabe der Aufgabe vom Operateurkanführer, auf Dienstmittel der Informationabildung, der Jeder, der Einrichtungen für die Kopplung mit Stellgliedern der Antriebe aufgebaut.

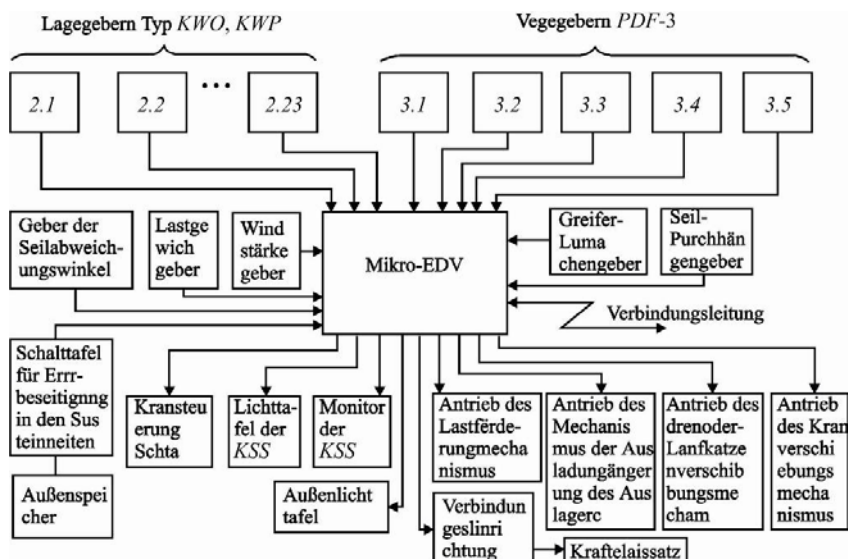


Abb. 4.3. Allgemeines Strukturschema eines residenten mikroprozessorischen Kranoptimalsteuerungssystems (RMP KOS)

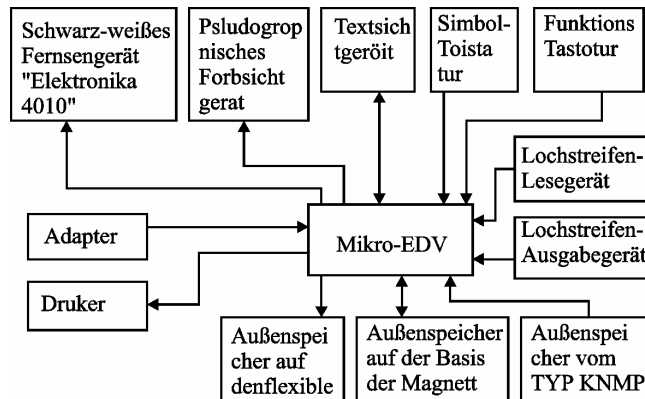


Abb. 4.4. Allgemeines Strukturschema einer Cross-MikroEDV-Anlage für RMP KOS Entwicklung

Im allgemeinen stellt sich dieser Geber eine komplizierte mechanisch-elektronische Vorrichtung dar und schließt eine spezialisierte mikro-EDV in sich ein. Der Geber übergibt durch eine Verbindungsleitung an die zentrale mikro-EDV des optimalen Steuerungssystems (OSS) des III Niveau die binär kodierte Information über die Größe des Abweichungswinkels des Lastseiles in den orthogonalen Koordinaten, über die Geschwindigkeit und Beschleunigung der Abweichung des Lastseiles, zyklisch einmal in 1 s.

Als Lastgewichtgeber (5) verwendet man ein genormter Geber, der in der polytechnische Hochschule in Odessa entwickelt wurde. Er ist für die Messung des Lastes und für die Organisation der Optimalsteuerung vorbestimmt, für das Wägen des Umladelastes und für die nachfolgende Anzeige des gesamten Gewichtes des während einer Schicht umgeladenen Lastes. Um die genaue Arbeit des Gebers zu gewährleisten, ist die Anwendung der spezialisierten mikro-EDV mit dem eigenen Algorithmus nötig, die durch eine Verbindungsleitung an eine zentrale mikro-EDV des III Niveau angeschlossen wurde. Um die Größe des Gewichtes des Lastes grob zu bestimmen, kann man den Geber unmittelbar an die zentrale mikro-EDV anschließen.

Der mechanische Geber des Abschwächens und des Durchhängens des Lastseiles (7) ist für die Bestimmung des Zeitpunktes wann der Greifer (Last) die Erdoberfläche berührt beim Betrieb mit dem komplizierten Oberflächenprofil, und für die Präzisierung der Optimalsteuerung. Er kann nach den Algorithmen zusammen mit dem Lastgewichtgeber für die Steigerung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit des OSS arbeiten.

Der mechanische und elektrische Geber des Greiferschließens (6) ist für Bestimmung des Vollschiessens des Greifers vorbestimmt. Zusammen mit dem Lastgewichtgeber und mit dem Geber des Abschwächens und des Durchhängens des Lastseiles gewährleistet dieser Geber die Arbeit mit den schüttbaren Lasten von ungleichartigen Typ.

Der Geber der Windstärke ist für die Funktionierung des Begrenzer des Lastmomentes vorbestimmt. Für die genaue Bestimmung der Windstärke bei der komplizierten Konfi-

guration des Kranquerschnittes für die Windbeanspruchung ist eine spezialisierte nach OPPO arbeitende mikro-EDV nötig, die durch eine Verbindungsleitung an eine zentrale mikro-EDV des III Niveau angeschlossen wurde.

Die Kopplungseinrichtung mit den Stelleinrichtungen (Antriebe):

Der Block der Kraftrelais (16) (4–32 Kanäle) ist für die Steuerung die auf dem Kran vorhandene Automatik der Antriebssteuerung für die Basiskranverschiebungsmechanismen:

- Lastaufhebenmechanismus;
- Laufkatzenverschiebungsmechanismus;
- Krandrehmechanismus;
- Mechanismus der Änderung der Ausladung des Auslegers;
- Kranverschiebungsmechanismus.

Der Block dient für die Antriebssteuerung von den Elektromotoren mit dem Schleifringläufer den Antrieb mit dem Kurzschlußläufer.

Die Einrichtung für die Kopplung (15) der mikro-EDV mit dem Kraftrelaisblock (16) – genormter Funktionsmodul mit den Anschlüsse der diskreten Signale mit der halvanischer Entkopplung. Er ist für die Übereinstimmung der Logik des Informationsaustausches in der mikro-EDV, für die Übereinstimmung der logischen und elektrischen Steuerungssignale mit den Kraftrelaisblöcke und für die halvanische Entkopplung der mikro-EDV von der Krafteinrichtung vorbestimmt.

Die Sollwerteinsteller (12.1–12.4) der Betriebsart des ATRK-Antriebs. Im einfacheren Fall stellt sich die Steuerung ATRK ein Modul für die Ausgabe der diskreten Signale mit dem resistenten Aufteiler und optoelektronischer Entkopplung dar. Im Fall der komplizierten Steuerung ATRK – das ist ein D-A-Umsetzer mit der Steuerungslogik von der zentralen oder spezialisierten mikro-EDV, mit der halvanischer Entkopplung und der Rückkopplung aufgrund des zweiten Kanals – D-A-Umsetzer.

Die Steuerungsorgane und die Eingabeeinrichtungen des Bedienungsperson-Kranfahrer:

Funktionskontrolleblock für OSS des III Niveau (17) – stellt sich eine spezialisierte tragbare Einrichtung, die eine genormte Tastatur der mikro-EDV und ein Monitor (ein Sichtgerät, Matrixanzeiger oder Symbolanzeiger) besitzt, die an die mikro-EDV in die Hauptleitung anschließen kann und welche durch den Steuerschalter der mikro-EDV aufrechterhalten wurde und welche die Funktionen des Pultterminal der mikro-EDV realisiert, dar. Das Funktionskontrollpult ist durch die Systems der Programmunterstützung (PU) aufrechterhalten (Monitor des Betriebssystems (BS)), kann ein Systemträger (Außenspeicher) besitzen, zum Beispiel, ein Floppydisklaufwerk Typ GMD 6022 oder ein Kassettenmagnetbandspeicher Typ RK-1.

Das Kransteuerungspult für den Bedienungsperson-Kranfahrer, das sich eine Steuerungstafel mit den zwei Steuerungshebel mit zwei Freiheitsgraden und eine Schaltmatrix 5x5, mit eine Reihe von Druckknöpfe für die Umschaltung der Betriebsarten und Funktionen des OSS darstellt. Das Pult besitzt auch ein Hebel für die Visiersteuerung auf dem Bild des

Bearbeitungsfeldes der Lade-Entlade-Arbeiten, ein Druckknopf der Notabschaltung des OSS, Stromspeisesystem, Druckknöpfe STOP und START für OSS und Kran. Das Pult schließt man an die mikro-EDV mit Hilfe einen speziellen Steuerschalter an und ist mit der Arbeit der Programmunterstützung unterstützt.

Verbindungsleitung (19) für das Anschluß des Dispatcherpultes des II Niveaus an die mikro-EDDV des III Niveaus.

Anzeigeservicemittel:

Monitor (fernseheartige symbol-pseudografische Videoterminalanlage) (19) des Bedienungsperson-Kranfahrers für die Anzeige der technologischen Parametern der OSS- und Kranarbeit, der gemessenen Werte der Wege, der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Hauptmechanismen des Kranes, des Windes, der Raumlage des Kranes, der Mechanismen, der Lasten, für die Anzeige der Zeit, des Lastgewichtes, des Lastmomentes, der optimalen, tatsächlichen und zulässigen Lastbewegungslaufbahn usw.

Die Anzeigetafel des Bedienungsperson-Kranfahrers (10). Ist angewendet anstatt des Monitors oder zusammen mit ihm für die Anzeige der Hauptinformation für den Kraftfahrer.

Die auf der Außenseite des Krans aufgestellte Außenanzeigetafel (11) ist für die Anzeige des laufenden Lastgewichtes und des gesamten vom Anfang der Arbeit umgeladenen Lastes vorbestimmt.

Außerdem, sind auf dem Strukturschema solche Bestandteile der OSS des III Niveaus nicht dargestellt:

Tonsignaleinrichtung für die technologische und Störungsmeldung.

Die Einrichtung für die Aufrechterhaltung der konstanten Arbeitstemperaturen der mikro-EDV und der Blöcke (Thermorelais, Heizelemente, Kühlungsventilatoren).

Luftfilter, hermetischer, wasser-, öl- und staubdichter Schrank für die Anordnung der mikro-EDV und der Blöcke.

Stromspeisungseinheiten ± 5 V, +12 V, +24 V.

Stromnetzfilter und der Spannungsstabilisator 220 V.

Reservespeisungakkumulator mit der Ladeeinrichtung.

Auf der Abbildung 4.5 ist das Strukturschema eines residenten Mikroprozessorsystems der Kransteuerung für die Greifer-Bunker-Umlader Typ GBP 800 t/s dargestellt. Dort sind zwei universale mikro-EDV ausgenutzt in zwei Knoten eines lokalen OSS, die miteinander auf solche Weise mittels der Verbindungsleitung angeschlossen sind, daß die gegenseitige Abfragen der mikro-EDV für die Übergabe der Mitteilungen, der Befehle, der Abfragen und der Antworten sind jederzeit möglich. Dabei schlägt dieses System eine Prioritätunterordnung vor. Die Ausnutzung von zwei Mikroprozessoren in OSS des III Niveaus ist durch eine Ursachenreihe bestimmt.

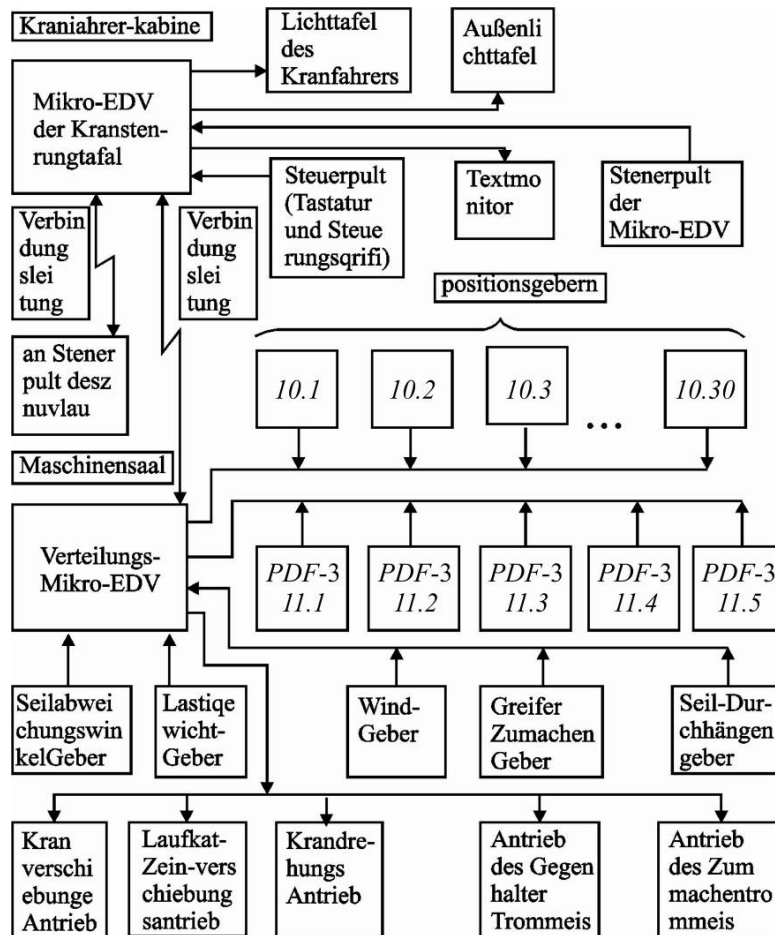


Abb. 4.5. Strukturschema eines multiprozessorischen residenten Mikroprozessorsteuerungssystem für GBP-800 – Umlader

Die leitende mikro-EDV (1) – befindet sich im Kranfahrerhaus. Ihre Hauptbestimmung besteht in Berechnung von flexiblen Pläne der Bewegungsoptimalsteuerung von Hauptmechanismen des Krans; in Berechnung der optimalen Bewegungslaufbahn des Lastes; in der Begrenzung der Laufbahn; in Gewährleistung der Funktionierung des Lastmomentbegrenzers; in der Aufnahme der Kranfahrerbefehle, ihrer Analyse, Ausführung und Zulässigkeitskontrolle.

Mikro-EDV (2) – geführte – befindet sich im Kranmaschinenaal. Das ist durch die Notwendigkeit des Anschlusses an die EDV der Mehrheit von Gebern und allen Kopplungseinrichtungen mit den Stalleinrichtungen mittels möglichst kurze Verbindungsleitungen, die ohne jeder Programm- oder geräteseitiger Schutz anwenden sind. Die Anwendung der Verbindungsleitungen mit der bit-aufeinanderfolgenden Struktur mit dem Protokoll IRPS (oder ähnlichen – SchnittstellenTyp S1, S2 oder S3) macht das gesamte System wesentlich

komplizierter und teuer. Von der Gesichtspunkt des Anschlusses der Gebern und Kopplungseinrichtungen aus stellt sich diese mikro-EDV ein Steuerschalter dar. Außerdem, kann die Verteiler-mikro-EDV selbst die Bewegungen der Hauptmechanismen des Krans nach die fixierte Optimalsteuerungsgesetze, die in ihren Speicher aufzeichnet sind, steuern. Das ist kennzeichnend für die automatische und halbautomatische Betrieb des Krans. Die mikro-EDV (1) und (2) sind mittels störungsgeschützte genormte Verbindungslinie mit dem Protokoll IRPS und die Länge bis zu 300 m verbindet, daß ein zuverlässigen Informationsaustausch gewährleistet. Die mikro-EDV (1) des Kransteuerungspultes des Kranfahrers setzt sich in Verbindung mit der Verteiler-mikro-EDV (2) in direkten Speicherzugriffmodus (2) oder in Unterbrechungsmodus. Die mikro-EDV (2) setzt sich in Verbindung mit der mikro-EDV (1) in folgenden Moden:

Abfrage des direkten Zugriffs an eigenen Speicher nach dem Bereitschaftsignal.

Unterbrechungsmodus (für die Notfälle).

In solcher Architektur des OSS des III Niveaus können wir die Verteilung der Aufgaben der zentralen EDV beobachten, um diese in realer Zeit zu lösen, um die Zuverlässigkeit des OSS und die Betriebssicherheit des Krans zu gewährleisten.

Auf der Abbildungen 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 sind Strukturschemen der einfachen einprozessorischen OSS des III Niveaus dargestellt, wobei die genormte Steuerschalter Typ MKP-32-0,5 und MKP-48-2 angewendet wurden. Solche einfache OSS kann man anwenden für die Brückenkräne mit Tragfähigkeit 5 t, mit relativ einfachen technologischen Prozeß beim automatischen oder halbautomatischen Betrieb.

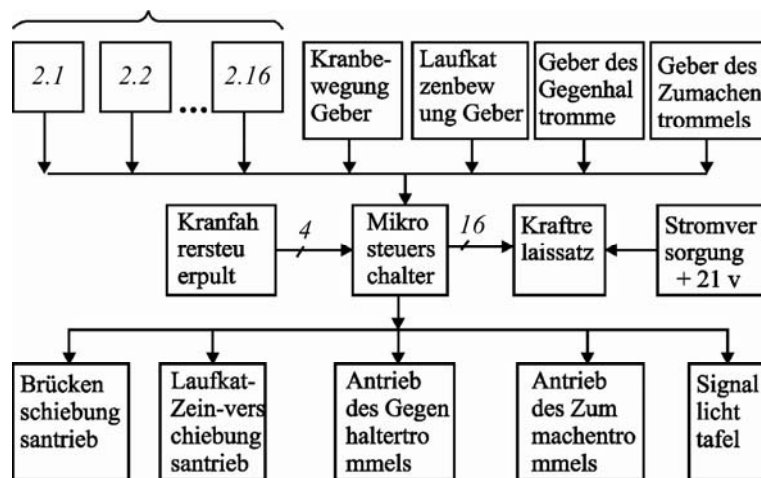


Abb. 4.6. Strukturschema eines Torkransteuerungssystem (Tragfähigkeit 5 t) auf der Basis des Mikroprozessor-Steuerschalters MKP-32-0,5

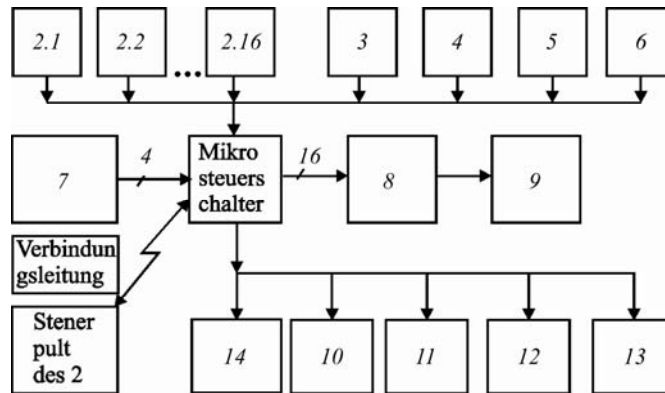


Abb. 4.7. Strukturschema eines Torkransteuerungssystem (Tragfähigkeit 5 t) auf der Basis des Mikroprozessor-Steuerschalters MKP-48-2

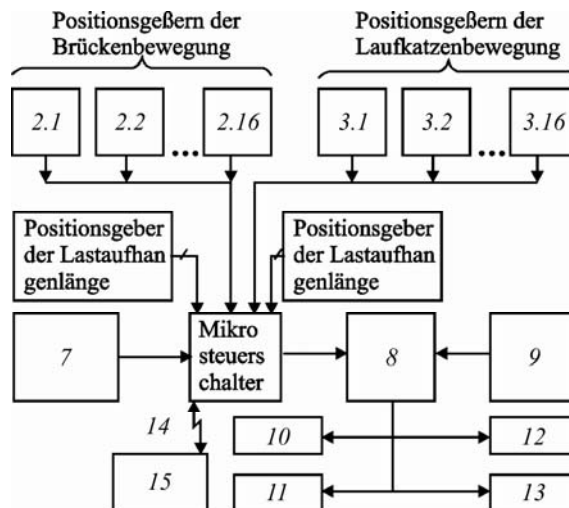


Abb. 4.8. Strukturschema eines Torkransteuerungssystem (Tragfähigkeit 5 t) auf der Basis des Mikroprocessor-Steuerschalters MKP-48-2 ohne zusätzlichen Modernisierung des Steuerschalters

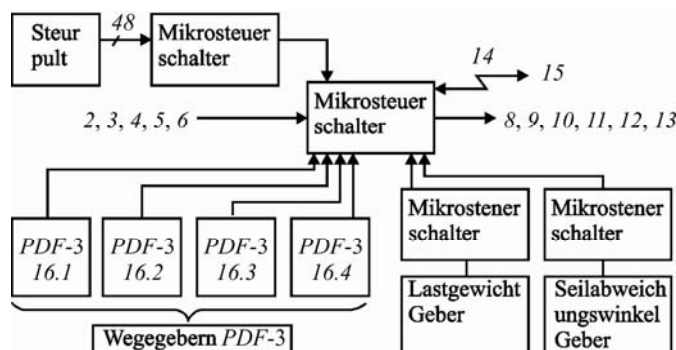


Abb. 4.9. Strukturschema eines Torkransteuerungssystem (Tragfähigkeit 5 t) auf der Basis des Mikroprozessor-Steuerschalters MKP-48-2 mit großer zusätzlichen Modernisierung des Steuerschalters gemäß Abb. 4.10

Bei der Anwendung des Steuerschalters MKP-32-0,5 (Abb. 4.1) ist OSS von dem I und II. Niveau isoliert und arbeitet selbstständig. Das ist das einfachste Steuerungsschema, das erlaubt die automatische Kransteuerung nach den fixierten Optimalsteuerungspläne. Bei diesem Schema ist nur Anschluß der Positionsgebern an 32-Kanal-Eingabeeinrichtung der diskreten Signale möglich.

Wenn anwenden wir anstatt MKP-32-0,5 ähnlicher Steuerschalter MKP-48-2, gewährleisten wir die Verbindung zwischen III und II lokalen Niveau, was verwirklicht die Funktionen der Dispatchersteuerung, erweitert die Möglichkeiten der Optimalsteuerung insofern ist die Ablösung der fixierten Optimalsteuerungspläne von dem Dispatcherpult aus möglich. Außerdem, ist der Anschluß bis zu 48 Positionsgebern (Abb. 4.8) möglich, was erlaubt die genauere Ablesung der Ladekoordinaten.

Um die volle Optimisationsaufgabe und andere Hauptaufgaben der Automatisierung zu lösen, ist der Anschluß an MKP-48-2 einer Reihe von Basisgebern notwendig: Typ *PDF-3*, Lastgewichtgeber, Lastseilabweichungsgeber (Abb. 4.9). Eine solche Lösung ist zwar möglich, aber ist mit den wesentlichen Verbesserungen des Steuerschalters (Gerät und Programme) verbunden und ist deshalb unzweckmäßig. Im Fall der Notwendigkeit solcher Verbesserungen des Steuerschalters (Abb. 4.10) soll der Ausarbeiter folgende Aufgaben lösen:

– Ausarbeitung der Steuerschaltermodulen, die ähnlich dem vorhandenen Steuerschalter des aufeinanderfolgenden Austausches.

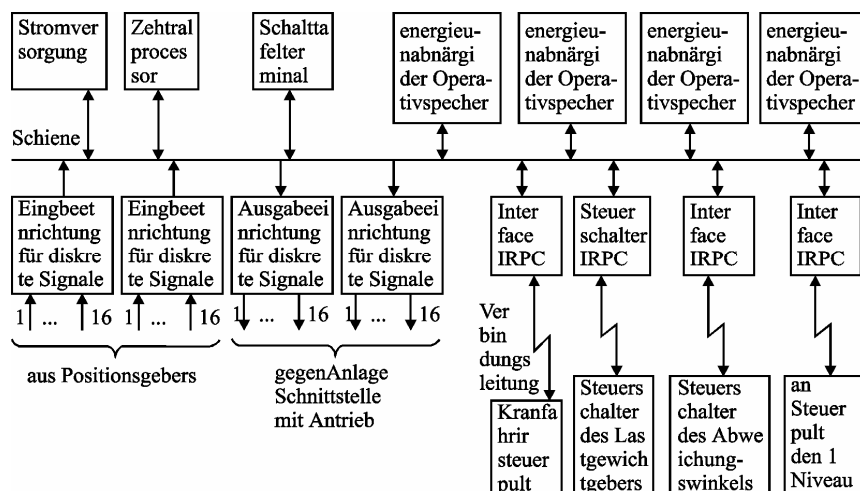


Abb.4.10. Modernisiertes MKP-48-2 Bauart

Die Strukturänderung des MKP, weil anstatt eines Steuerschalters des aufeinanderfolgenden Austausches vier solche Einrichtungen vorhanden sind.

Volle Überarbeitung der Programmunterstützung des MKP.

Das Diagramm zeigt die elektrische Schaltung eines Kranführer-Steuerpults. Die Schaltung ist in zwei Hauptbereiche unterteilt: ein oberer Bereich mit den Modulen $M2$, $P3$, $PP2$, UPO und dem Steuerschalter des Schalttafelterminals, und ein unterer Bereich mit der Einrichtung für die Eingabe von diskreten Signalen und zwei weiteren Steuerschaltern. Die Module sind über eine Busstruktur mit den Kennzeichnungen $K1$ und 6 verbunden. Die Verbindungen sind durch Pfeile dargestellt, die die Signalrichtung und die Art der Verbindung (z.B. Steuerleitung, Versorgungsleitung) andeuten.

Das Diagramm zeigt die Lastverteilung für ein 12-Stöckiges Bürogebäude. Die 3D-Struktur oben zeigt die räumliche Anordnung der Räume. Die Lastpfade sind durch Pfeile dargestellt, die von den Räumen zu den tragenden Elementen (Wand, Decke, Stütze) führen. Die Lasten sind in verschiedenen Ebenen (KS, KW, S, V) und an verschiedenen Stellen (an Steuerpunkt, an MS, von Lastgewichtgeber, von Seilabwinklungsgeber) aufgetragen. Die Lasten sind in verschiedenen Ebenen (KS, KW, S, V) und an verschiedenen Stellen (an Steuerpunkt, an MS, von Lastgewichtgeber, von Seilabwinklungsgeber) aufgetragen.

181

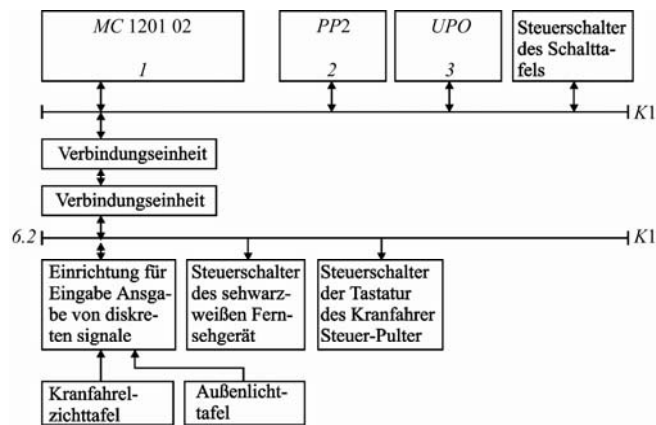


Abb. 4.13. Bauart der Mikro-EDV-Anlage der Operator-Kranfahrer-Schalttafel auf der Basis der Mikro-EDV "Elektronika-MS 1201.02"

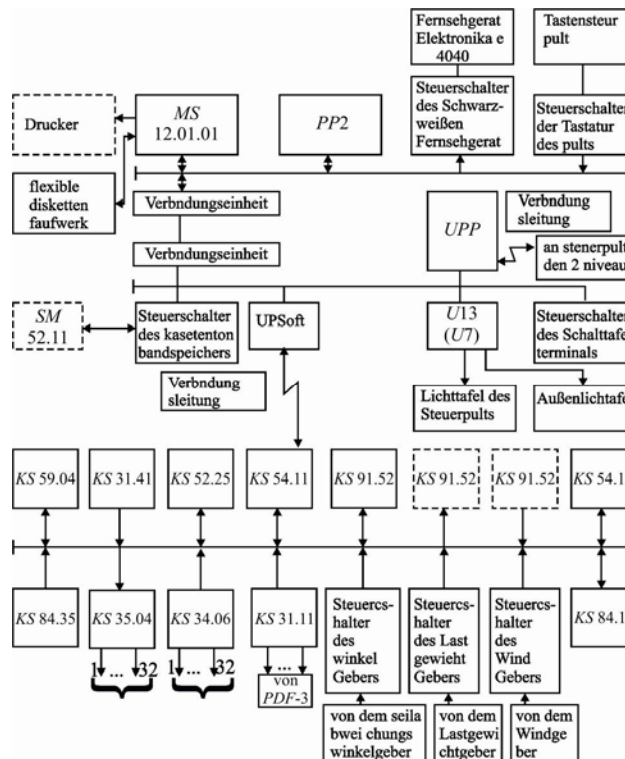


Abb. 4.14. Bauart des zweiprozessorischen residenten mikroprozessorischen Kranoptimalsteuerungssystem

4.2. Види робіт системи кранів для складу.

Betriebsarten der Kransysteme auf dem Lager

Wenn mögliche Architekturen der Kransteuerungssysteme bei der Arbeit im Lager zu betrachten, so kann man drei Arten der Kranrobotisierung aussuchen.

Vollrobotisierter manipulatorartiger Kran, z.B. Kran-Stapler, der unter Steuerung II oder III, oder II und III lokalen Niveau des Steuerungssystems arbeitet. Solche Automatisierung kann man auf den "grob"-arbeitende Kräne verwirklichen – d.h. auf solchen, für denen alle Lade- und Entladepunkte sind bestimmt. Jeder solcher Punkt, der drei Raumkoordinaten hat, ist bestimmt und für den Kran zulässig und hat eigene bedingte Benennung. Dabei gibt es in der Kranarbeit entweder keine Besonderheiten (z.B. Greiferdrehung), oder sie haben keine wesentliche Wirkung auf der Technologie der Lade-Entlade-Arbeiten.

Robotisierter Kran, der im automatischen Betriebsart arbeitet, aber in Anwesenheit des Menschen (Bedienungsperson-Kranfahrer), der die automatische Kranarbeit kontrolliert. Die wichtigste Funktion des Menschen im solcher Steuerungssystem besteht in Vorgabe der Anfangsarbeitbedingungen des Krans und die Aufgabenkorrigierung im Laufe des Betriebs. Eine solche Kranbetriebsart verwendet man wenn erstens, kann man alle mögliche Punkte des Lade-Entlade-Raumes im voraus nicht bestimmen, und zweitens, wenn "feine" technologische Operationen des Krans vorhanden sind, die sind schwer befriedigend zu automatisieren.

Robotisierter Kran, der als ob im Handbetrieb unter Steuerung des Bedienungsperson-Kranfahrers arbeitet. Dabei kann OSS die Arbeit des Menschen "unterstützen". Diese Unterstützung besteht in Prognosieren der Lastbewegungslaufbahn und in der Korrigierung der Laufbahn unabhängig von dem Menschen im Laufe seines Arbeit. Also, in diesem Fall steuert der Mensch den Kran, OSS analysiert und korrigiert diese Steuerung, d.h. daß der Mensch jetzt nicht nur aufgibt und regelmäßig ändert die Anfangsarbeitsbedingungen des Krans, sondern übergibt die Aufgaben an OSS. Die Aufgabe des OSS dabei besteht in Gewährleistung der Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit für den Kranfahrer-Neuling und für den Kranfahrer-Professional in komplizierten Wetter- und Territoriumbedingungen, wann wegen der Kompliziertheit der Arbeitstechnologie ein automatischen Kranbetrieb unmöglich ist.

Offensichtlich, daß in allen drei obegenannten Fällen geht es um ein Komplex "Mensch-Mechanismus". Bei der Ausarbeitung des mathematischen Modells der Kranarbeit, mathematischer Beschreibung und der Algorithmen der Funktionierung ist ähnliche Behandlung offensichtlich für jede aus drei Betriebsarten. Wir erhalten auch solche gleiche Funktionen für die drei Betriebsarten:

Anzeige der Daten und der Zwischeninformation bzgl. Kontrolle und Diagnostik des OSS und des ganzen Krans mittels Anzeigemittel des OSS für den Bedienungsperson-Kranfahrer, Dispatcher, Technologe oder Bedienungspersonal.

Die Gewährleistung der störungsfreie Funktionierung des OSS (Reservehaltung der Prozesse und leitende, kontrollierende, begrenzende Einwirkungen sowohl von der Seite des OSS auf den Kran, als auch von der Seite des Kranfahrers) und des Krans (z.B. automatischer Betrieb des Lastmomentbegrenzers des Krans) usw.

Die verbesserte Algorithmen und entsprechende Programme werden offensichtlich unterschiedlich sein. Folglich, schon bei solcher Aufgabestellung haben wir vier Arbeitsrichtungen. Jedoch ist zu berücksichtigen, daß wenn die Ausarbeitung der angewandte Programmunterstützung, die die Steuerungsalgorithmen realisiert, verlangt der Kabinettarbeit (auch auf dem Rechenzentrum), ist die Schaffung der Apparatur des OSS mit vielen Faktoren und Behörde verbunden, was verlangt mehr Zeit und verwaltungs-wirtschaftliche Arbeit.

Obwohl wurden zur Zeit auf der Basis der fortschrittlichen Mikroprozessortechnik die Ausarbeitung, Nacharbeitung, Modifikation der Architektur, der Funktionen und der Gestaltung vielmals leichter, verlangen sie doch große materielle Aufwände und stellen sich große Schwierigkeiten dar. Daher ist eine der Hauptforderungen an das Schaffen der OSS-Apparatur – die "vernünftige" Redundanz der Apparatur, unbestritten in strengen Übereinstimmung mit den Entwicklungsaussichten der Lager und Rechentechnik für die nächste 10 Jahre. Diesen Forderungen entspricht das Schaffen des Komplexes der technischen Mitteln (KTM) mit der wechselnde Struktur, der schließt in sich eine Reihe der Rechentechnikmitteln ein: Steuerungselemente, Speichermodule, Steuerschaltern für die genormte und kran-spezifische Einrichtungen, Verbindungsleitungen, ein begrenzter Gebernsatz, die Bauelemente von einheitlichem Typ, die Kopplungseinrichtungen für die verschiedene Antriebe usw.

4.3. Функції мікропроцесорної системи оптимального керування.

Funktionen der mikroprozessorischen Optimalsteuerungssystem

4.3.1. Функції бортової системи оптимального керування (COY) (III локальний рівень COY) для трьох видів робіт. Funktionen des Bord-OSS (III lokalen Niveau des OSS) für alle drei Betriebsarten des robotisierten Krans

Das Befehlformieren und die Antwortaufnahme für das Pult der Dispatcherkontrolle und Steuerung (PDSK) – II lokalen Niveau des OSS.

Primärbearbeitung der Information von den auf dem Kran aufgestellten Gebern, von den Dispscher- und Kranfahrergebern; Informationsverdichtung für die Sekundärbearbeitung.

Die Sekundärbearbeitung der Information und die Ausarbeitung der Steuereinwirkungen.

Die Gewährleistung der interaktiven Arbeit des Kranfahrers mit dem OSS mit Hilfe des spezialisierten Pultes der Kontrolle und Steuerung (PKS), der im Kranfahrerhaus aufgestellt ist.

Das Vorhandensein von verschiedenen Anzeigemitteln für die Anzeige der verschiedenen Kranbetriebsprozesse (die Leuchttafeln, einfarbige und farbige Videokontrolleeinrichtungen für Symbole und Grafiken).

Das Vorhandensein einer Reihe von Betriebsarten des PKS's.

Die Bild- und Tonstörungssignalisation des OSS in den unvorhergesehenen Situationen.

Die Möglichkeit der Übergabe der Information über den OSS-Zustand und Kranfunktionierung an EDV des II. Niveaus.

Die Dämpfung der Lastschwingungen und die Gewährleistung des schnelligkeitsoptimalen Gesetzes der Steuerung der Kranhauptmechanismen.

Die automatische Begrenzung des Lastmomentes des Krans.

Die automatische Berücksichtigung der Windbeanspruchung.

Die Notausschaltung des Krans bei den OSS-Störungen, bei den Betriebssicherheitsstörungen, sowohl automatisch, als auch nach dem Dispatcher- oder Kranfahrerbefehl.

Das moderne, ergonomische Pult für die Kransteuerung und Aufgabeeingabe von der Seite des Bedienungsperson-Kranfahrers.

Das Vorhandensein der Dispatchersteuerungsart der Kranfernbedienung von dem PDSK (außer Abs. 4.3.4).

Die diagnostische Kontrolle der Bordapparatur des OSS.

Die Möglichkeit der Modifizierung der spezialisierten Programmunterstützung mittels Speicherplattenwechsel.

Möglichkeit der Änderungen der Leistungsfähigkeitskennzahlen des Krans und des Kranfahrers nur im Laufe der Tätigkeit nach dem technologischen Prozeß (das laufende Gewicht des Lastes, das laufende Gesamtgewicht des umgestellten Lastes usw.).

Das Vorhandensein des Handbetriebs des Krans beim abgeschalteten OSS; beim eingeschalteten OSS soll der Handbetrieb eine höhere Steuerungspriorität haben.

Die Fähigkeit der Berechnung der Optimalposition des Krans (Kranpositionierung) bzgl. der umladenen Lasten.

Die Möglichkeit der Auswahl der Optimallaufbahn der Lastbewegung.

Die Möglichkeit der Begrenzung der Lastbewegungslaufbahn von der Seite des Bedienungsperson-Kranfahrers.

Diagnostische Kontrolle der Kranmechanismen und Krankonstruktion.

4.3.2. Функція бортової СОУ, яка функціонує повністю автоматично (додатково до розділу 4.3.1). Die Funktionen des Bord-OSS, das funktioniert vollautomatisch (zusätzlich zu Abs. 4.3.1)

Die Kransteuerung von dem PDSK aus dem Bord-OSS entgehend mit der Realisation von allen Funktionen und Betriebsarten des Bord-OSS im PDSK.

4.3.3. Функція бортової СОУ, яка функціонує напівавтоматично під керуванням обслуговуючої особи – кранівника (додатково до розділу 4.3.1). Die Funktionen des Bord-OSS, das funktioniert halbautomatisch unter Steuerung des Bedienungsperson-Kranfahrers (zusätzlich zu Abs.4.3.1)

Die Kransteuerung den Bedienungsperson-Kranfahrer im Handbetrieb dem OSS entgehend.

4.3.4. Функція бортової СОУ, яка функціонує як "сприяння" обслуговуючої особи – кранівника (додатково до розділу 4.3.1). Die Funktionen des Bord-OSS, das funktioniert als "Unterstützung" für den Bedienungsperson-Kranfahrers funktioniert (zusätzlich zu Abs. 4.3.1)

Die Fähigkeit der Berechnung des Optimalsteuergesetzes der Bewegung der Haupt-mechanismen des Krans bei der Lastverschiebung in realen Zeitmaßstab.

Das Vorhandensein des Bedienungspersonausbildungsmodus ("Trainer"-Modus) für die zwei Variante: Kran bewegt sich und Kran ist unbeweglich.

4.3.5. Функція диспетчерського пункта керування краном і бортова СОУ для крана. Die Funktionen des Dispatcherpunktes der Kransteuerung und des Bord-OSS auf den Kräne

Reservehaltung der Pultfunktionen.

Die Möglichkeit des Informationsaustausches mit dem Rechenzentrum (I Niveau) mittels gegenseitige Abfragen und Befehle.

Das Vorhandensein des Dispatchersteuerungspultes.

Das Vorhandensein des technischen Pultes für die Programm- und Datenvorbereitung.

Die Möglichkeit der Übertragung der entwickelte Programmunterstützung von dem technologischen Pult aus auf das Dispatcherpult mittels den Austausch der Außenspeicher

(Magnetdisk, Magnetband u.a.), sowie direkte Informationsübertragung durch ein abgesonderten Verbindungskanal.

Das Vorhandensein verzweigter Anzeigemitteln: Dispatcherpult – grafischen Farbmonitoren – 2 St., Symbolmonitor – 2 St., Übersichtsschaltbild, Signalisationleuchttafel, Notfallsignalisation. Technologisches Pult – grafischer Farbmonitor – 1 St., Symbolmonitor – 1 St., Bord-OSS für die Programmunterstützungsentwicklung.

Die Möglichkeit des Erhaltens von "harte" Kopie – "Schichtprotokoll" über die Arbeit von allen Kräne, mit den technologischen Angaben, Datum, Zeit und den Namen Ausführungspersonen.

4.4. Види робіт бортової СОУ.

Betriebsarten des Bord-OSS's

1. Automatische – der Kran arbeitet selbstständig ohne die Menschenmischung nach der im voraus gegebene Aufgabe.

2. Dispatcherbetriebsart – der Kran arbeitet nach den Befehle des Dispatchers von PDSK aus.

3. Bedienungspersonbetriebsart – der Kran arbeitet automatisch, der Bedienungsperson-Kranfahrer kann die Aufgabe korrigieren.

4. Bedienungspersonbetriebsart mit der "Unterstützung" – der Kran arbeitet in Handbetriebsart unter die Steuerung der

Bedienungsperson-Kranfahrer mit der "Unterstützung" des OSS.

5. Handbetrieb – der Bedienungsperson-Kranfahrer steuert den Kran, OSS ist abgeschaltet.

6. Notfallbetriebsart – bei der erzwungene Unterbrechung der Kranarbeit mit der Tonsignalisation in Außen, im Kranfahrerhaus und auf dem PDSK, mit der Videokontrollsignalisation auf der Leuchttafel oder auf dem Monitor des Bedienungsperson-Kranfahrers, auf der Übersichtsschalttafel oder auf dem Monitor abhängig von der Situation, wann:

die elektronische Einrichtung ist außer Gefecht gesetzt;

Kran ist überlastet;

der Lastmomentbegrenzer ist ausgelöst;

die Windbeanspruchung ist vergrößert;

die Fehlbefehle des Kranfahrers oder Dispatchers gegeben wurden;

plötzlicher Stromausfall;

die Krafteinrichtung des Krans (Elektromotoren, automatische Steuerungsschemen u.ä.) ist überlastet;

beim Gefahr der Überlastung der Stahlkonstruktion des Krans oder der Kupplungs- und Bremsenmechanismen;

bei der Verletzung der zulässigen Bewegungslaufbahn des Lastes während der Lastbewegung oder Lastaufschaukeln von der Seite des Kranfahrers oder Dispatchers;

wenn die Fußgänger in die Arbeitszone des Krans eingetreten haben.

7. Technologische Betriebsart – für Voreinstellung der Kranoptimalsteuerung für die Datenmassiveänderung (Koordinationspläne, Positionierungspläne, Kranfeinjustieren) von der Seite der Programmierer-Technologen.

8. Kontrolldiagnostische Betriebsart – für die operative Kontrolle der Kranmechanismen, des Bord OSS's, des PDSK von der Seite der Elektronikingenieure, Elektrikern und Mechanikern um die Störungen in den technischen Charakteristiken des OSS's oder der Hilfseinrichtung zu entdecken, um die Gebern zu prüfen, um das ganze OSS als Meßgerät zu prüfen, um die Tests des ganzen OSS und der einzelnen Einrichtungen bzgl. die Kontrollaufgabeausführung durchzuführen, um die Arbeitsfähigkeit der einzelnen Teile der elektronischen und Hilfseinrichtung (und in Perspektive – auch der Kranteile) zu kontrollieren.

9. Systembetriebsart 1 (angewandte) – für die Neuaufgabe des OSS's von der Seite des angewandten Programmierers der angewandten Programmen, die die Optimalsteuerung verwirklichen, die Moden und Funktion des OSS's verwirklichen, Umarbeitung verschiedenen Programmteile, Dimensions- und Inhaltänderung der Datenmassive, für die Eingabe der neuentwickelte Serviceprogrammen.

10. Systembetriebsart 2 – für den ausarbeitenden System- programmier, um die Multi-programmarbeit von einzelnen Blocke zu verändern, um die geräte- und programmseitige Konfiguration der Verbindungen zwischen Blocke (zwischen Prozessoren) in ganzem zu verändern, d.h. für die Architekturänderung des OSS in Rahmen des automatisierten Steuerungssystem in ganzem ohne Arbeitsfähigkeitverlust.

11. Das System des sanktionierten Zuganges an die Kransteuerung, an die Nacharbeitung oder Änderung der Programmen in OSS von der Seite:

- des Bedienungsperson-Kranfahrers (Kranfahrerbetriebsart);
- des Bedienungsperson-Schülers (Trainer-Betriebsart);
- des Dispatchers PDSK (Autonom- oder Dispatcherbetriebsart);
- des Technologes (technologische Betriebsart);
- des Reparaturmachers (Kontroll-Diagnostik-Betriebsart);
- des OSS-Entwicklers (Systembetriebsarten 1 und 2).

12. Demonstrationsbetriebsart – der Kran ausführt eine Kontroll-Demonstrations-Aufgabe mit den in voraus vorprogrammierten "Notsituationen" im Fall der einfachen und der komplizierten Positionierung, um die Möglichkeiten des Krans und die Betriebsbereitschaft des Krans operativ zu prüfen.

13. Trainer – für das PDSK und Bord-OSS, ähnlich zu der Demonstrationsbetriebsart, jedoch mit den Einmischungsmöglichkeiten des Bedienungsperson-Kraftfahrers oder des Dispatchers, um sie zu schulen.

14. "Schicht-Protokoll" – dort sind das Datum, die Namen der Bedienungspersonen, die Betriebsarten, Schichtleistungsfähigkeit des Krans, technologische und Kontrollparametern, Vorhandensein der Notfälle, die Zeit der Arbeitspausen u.ä. widerspiegelt, um die Technik und die Leute zu bewerten.

15. Auskunftbetriebsart – für die Vorsage dem Bedienungsperson-Kranfahrer oder dem Dispatcher der richtigen Arbeitshandlungen, sowie für die Ausgabe der nötige technologische und Auskunftinformation.

Die Kontrollfragen 4

1. Zählen Sie bitte die Aufgaben des Systems der automatisierten Optimalregelung für die Kranen in Lagern auf.

2. Woraus bestehen die grundsätzliche Besonderheiten des Systems der automatisierten Optimalregelung für die Kranen in Lagern?

3. Nennen Sie bitte Hauptbestandteilen des Steuerungssystems des Portalranes auf der Grundlage Mikrocomputer MKP-32-0,5.

4. Welche Arbeitsarten erlauben, das System der automatisierten Optimalregelung für die Kranen in Lagern zu automatisieren?

5. Welche Funktionen gibts es im Bordsystem der Optimalregelung für die Kranen in Lagern. Welche Funktionen gibt es in der Dispatcherzentrale?

5. АПАРАТИ ДОСЛІДНОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ (МПС) ДЛЯ КЕРУВАННЯ КРАНОМ.

VERSUCHSMUSTERGERÄTE DER MIKROPROZESSORSYSTEME (MPS) FÜR DIE STEUERUNG DES KRANES

In Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden realisiert:

- Erarbeitung der Funktionen und der Betriebsarten des Steuerungssystems;
- Wahl technischer Mittel der Mikroprozessortechnik für die Schaffung des Steuerungssystems;
- Erarbeitung des Strukturschemas des MPS;
- Erarbeitung elektrischer Funktionsschaltbilder und der Anordnung des MPS;
- Erarbeitung elektrischer Prinzipschaltungen origineller (nicht standardisierter) Einrichtungen und der Schemen der Kopplung an die elektrische Schaltung der Kranes.

5.1. Функції та види робіт системи керування. Funktionen und Betriebsarten des Steuerungssystems

Das Steuerungssystems des Kranes realisiert nachstehende Funktionen:

- Aufsührung der Bewegungen der Hauptmechanismen des Kranes, programmgesteuert durch das MPS;
- Schwingungsdämpfung der Last am Ende der Bewegung;
- Realisierung optimaler in bezug auf die Schnellwirkung Steuergesetze der Bewegung der Mechanismen unter Berücksichtigung elastischer Aufhängung der Last;
- Automatisierung des Schöpfvorganges des Schüttgutes mittels eines Greifers;
- Vorgabe durch einen Bedienungsmann (den Kranführer) der Schöpfens- und Schüttungspunkte mit automatischer Ausführung der Bearbeitung der Oberfläche mittels des Kranes;
- Möglichkeit des Informationsaustausches mit äußerem Dispatcherpult;
- Möglichkeiten der automatischen und der Handaßschaltung beim eventuellen Fehler in der Funktion des MPS bzw. der Störung des technologischen Prozesses;
- Möglichkeit der Handsteuerung des Kranes vom Kranführerstand aus.

Die Funktionen des MPS werden realisiert durch dessen Hardware, durch programmeigene Betriebsarten unter Anwendung optimaler Steuergesetze der Bewegung.

Die Betriebsarten des MPS sind:

"START/STOP" – Mit der Einschaltung des MPS erfolgen die Ausgangsblockierung sämtlicher Bewegungen, Abschaltung der Einspeisung der Mechanismen, Hardware-Selbstprüfung des MPS;

"Eingangsdialog" – Eingabe durch den Bedienungsmann (den Kranführer) der Eingabe-parameter der Funktion des MPS der Technologie der Arbeit;

"Handfahrweise" – die Bewegungen der Mechanismen bei der Handsteuerung vom Kranführerstand aus;

"Automatischer Betrieb innerhalb eines Arbeitsspiels" – Bewegung der Mechanismen unter Steuereinwirkung des MPS nach optimalen Gesetzen;

"Kontrolle und Diagnose" – Überprüfung der Intaktheit des Mikroprozessors, der Geber und Antriebe der Mechanismen anhand der Kontrollaufgaben und der Terte;

"Verkehr mit Dispatcher" – die Betriebsart wird nur auf dem Geräteniveau realisierbar: dadurch wird eine prinzipielle Möglichkeit gegeben, mit einer peripheren ERM Verbindung zu treten.

"Havariebetrieb" – Blockierung sämtlicher Mechanismen, akustische Signalgabe, Stille-gabe, Stilllegung.

Die Betriebsarten des MPS werden anhand der Erarbeitung der Anwendungssoftware (ASW) realisiert. Der Lademodul der ASW ist fest in dem PROM aufgezeichnet und wird im Mikroprozessor eingestellt. Für die etwaige Reparatur ist entweder der PROM-Modul gegen einen intakten ebensolchen Modul ersetzt oder ein Programm wird von Hand in einen energieunabhängigen Speicher (EUS) vom Listing des Lademoduls eingegeben.

5.2. Вибір технічних засобів для мікропроцесорної системи.

Wahl technischer Mittel des Mikroprozessorsystems

Im Ergebnis des Modellierens mittels einer ERM der Struktur des MPS in der Übereinstimmung mit den auszuführenden Funktionen und den inneren Austauschvorgängen wurden zwei Varianten der technischen Lösung gewählt, u.z. die Realisierung des MPS auf dem Mikroprozessor-Kranfahrshalter Typ МК-1 oder auf dem Mikroprozessorkomplex "ПТОК-2У".

5.2.1. Реалізація МПС на базі мікропроцесора МКП-1. Realisierung des MPS auf der Basis des Mikroprozessor- Kranfahrhalters Typ МКП-1

Der Mikroprozessor-Kranfahrshalter Typ МКП-1-48-2 stellt einer der einfachsten Programmschalter dar. Die ist auf der Basis des Mikroprozessorsatzes Serie 580 aufgebaut, mit einem originellen Befehlsvorrat, einem eingebauten Einzeilendisplay und einer Tastatur.

Der Programmschalter ist für die Steuerung der verfahrenstechnischen und Transportanlagen sowie für zyklische Programmsteuerung der robotisierten Manipulatoren bestimmt.

Die Vorzüge eines MPS, aufgebaut auf der Basis des Programmschalters MKP-1, sind:

- Einfache Konstruktion:
- bequeme Handhabung (Programmierung und Wartung):
- relativ hohe Betriebssicherheit:
- Einfachheit der Software:
- Preiswertigkeit.

Nachteilig ist das Fehlen eines visuellen Informationssystems für den Bedienungsmann (den Kranführer) (Abb. 5.1).

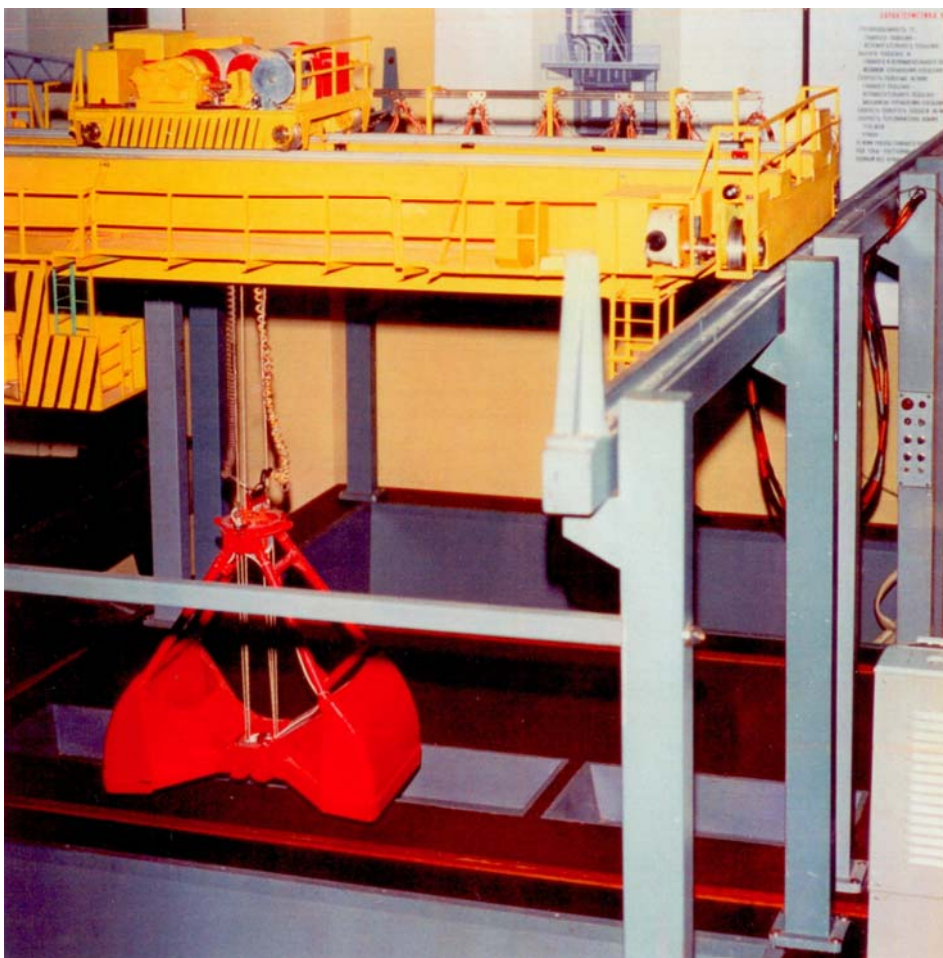


Abb. 5.1. Modell des automatisierten Greiferkrans mit dem Steuerungssystem auf der Basis des Mikrocontrollers MKP-1, 1990

5.2.2. Реалізація МПС на базі мікропроцесорного комплексу "ПІТОК-2". Realisierung des MPS auf der Basis des Mikroprozessorkomplexes "ПІТОК-2"

Das vorliegende MPS hat nachstehende Vorteile gegenüber des obenbeschriebenen:

- Möglichkeit des Aufbaus eines verzweigten MPS mit den Gebern erhöht Genauigkeit, einschließlich der Analogiegeber;
- Möglichkeit genauerer Realisierung optimaler Steuerungsgesetze für Mechanismen eines Kranes;
- Vorhandensein eines Steuerpultes mit hochentwickeltem System der Anzeige, einschließlich desjenigen auf einem Schwarz-Weiß-bzw. Farbbildschirmgerät.

Nachteilig ist verhältnismäßig hoher Preis (Abb. 5.2).

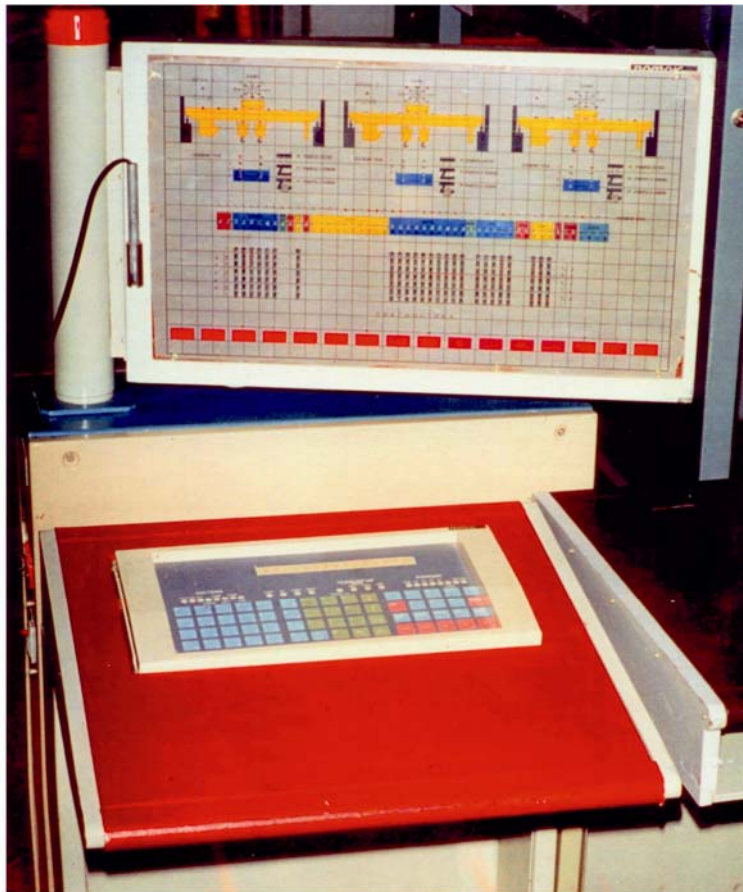


Abb. 5.2. Arbeitsplatz des Operators des Steuerungssystems von drei Kranen im Lehrstuhl "Hebe- und Fördertechnik" im Jahre 1992

5.3. Структурна схема МПС. Strukturschemen der MPS

5.3.1. Структурна схема МПС на базі МКП-1. Strukturchema eines MPS auf der Basis des MKP-1

Das Strukturschema ist im 5.3 dargestellt.

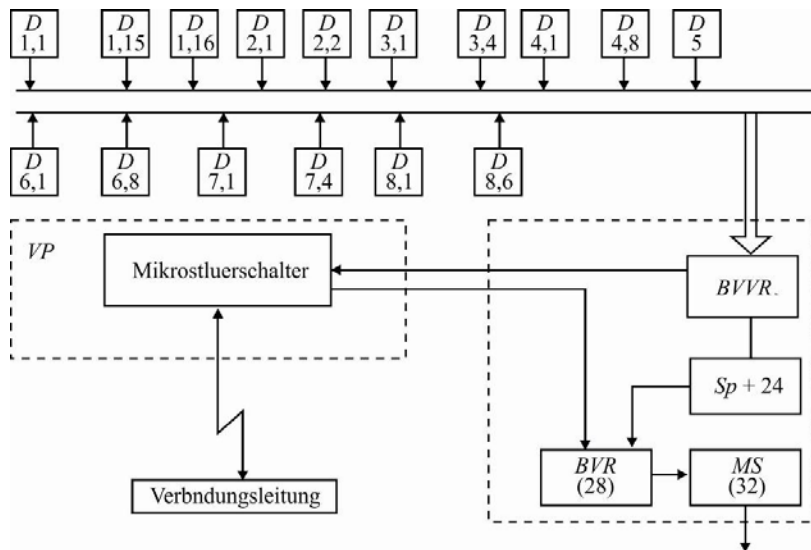


Abb. 5.3. Strukturschema eines Mikroprozessor-steuerungssystem des Torgreiferkranes auf der Basis des MKP-1-48-2

Die Bezeichnungen auf dem Schema:

PU – Kranführerstand – stellt eine originelle Erarbeitung des Abwicklers dar und umfaßt den Programmschalter MKP-48-2 mit der Steuertastatur und Steuerschalter in der Miniaturbauweise für Mechanismen des Krans, welche zwei Steuerhebel für die Ebenen *X* und *Y* darstellen;

III *KR* – Relaischrank für die Kopplung des Kranführerstandes mit Steuerschemen der Antriebe von Kranmechanismen;

MS – Schötzeinheit, bestehend aus 32 Magnetanlassern für Stromstärken bis max 35 A für die Anschaltung parallel den Starkstromkontakten der Kransteuerschalter lt. elektrischem Prinzipschaltbild des Krans Krantragfähigkeit 3,2t;

BVR – Block der Ausgangsrelais (28 Stck):

+ 24 – Zusatz – Stromversorgungsteil + 24 V, 2 A;

BVVR – Block der Ausgangsrelais von Digitalgebern (für die Steigerung der Stürfestigkeit langgestreckter Verbindungsleitungen der Geber und des MKP-1).

Sämtliche Geber des System sind auf der Basis von Streckenschaltern Typ *WP-15D* aufgebaut:

D 1.1...D 1.15 – Weggeber der Kranlaufkatze, angeordnet in gleichmäßigen Abständen längs der Kranbrücke;

D 1.16 – Ruhestellungsgeber der Kranlaufkatze bei der Anfangeinstellung (für die Zeitbindung in dem MPS);

D 2.1, D 2.2 – Wegbegrenzungsgeber der Kranlaufkatze (Endschalter);

D 3.1, D 3.4 – Geber der Vorgabe von Kontrollpunkten der Fahrstellung der Kranlaufkatze (mit der Möglichkeit der Verstellung);

D 4.1...D 4.8 – Weggeber der Kranbrücke;

D 5 – Geber der maximalen Greiferhubhöhe (Endschalter);

D 6.1...D 6.9 – Verallgemeinerter diskreter Geber des Seilablenkungswinkels (fakultativ);

D 7.1, D 7.2 – Zweistellungs – Massegeber (fakultativ);

D 7.3, D 7.4 – Geber der Schließung des Greifers und des Kontaktes mit dem Grund (fakultativ);

D 8.1...D 8.6 System der Geber mit dem Ausgleichsgetriebe für die Messung der Freihanghöhe und des Längenverhältnisses des Hub- und des Schließseils des Greifers (obligatorisch bei der Automatisierung des Schürfvorganges und beim Betrieb mit veränderlicher Seillänge).

5.3.2. Структурна схема МПС на бази "ПІОТОК-2У". Struktur des MPS auf der Basis vom "ПІОТОК-2У"

Der Hauptanwendungsbereich des Komplexes "ПІОТОК-2У" – ist die Ausstattung von Dispatcher- und Bedienungspultenzwecks Aufbaus zentralisierter Steuersysteme für elektrische Ausrüstung der Fließförderungssysteme der Produktionsbetriebe verschiedener Industrie-zweige.

Der Kranführerstand dient für Realisierung nachstehender Funktionen:

- Bildung und Ausgabe von Steuersignalen an die Steuerschränke der Kraftanlagen;
- Empfang und Bearbeitung der Signale und Angaben von den Steuerschränken der Kraftanlagen;
- Darstellung der Information über den Zustand des zu steuernden Objektes in einem Leuchtschaltbild;
- akustische und optische Schadenmeldung.

Technische Daten	
Speisespannung, V	220
Aufnahmeleistung, VA, höchstens	500
Informationsdarstellungsform für den Bedienungsmann	ein Leuchtschaltbild
Maximale Zahl der Steuerungselemente bzw. Anzeigeelemente auf dem Leuchtschaltbild	384
Maximaler Umfang der aufzunehmenden und zu übermittelnden Information	16 Kbyte
Maximale Speicherkapazität	64 Kbyte
Speichersystem	ROM, RAM, energieunabhängiger RAM
Speicherdauer der Information im energie unabhängigen RAM nach der Abschaltung der Speisespannung	mindestens 60 h
Struktur der Verbindungskanäle	radial
Art der Verbindungsleitung	IRPS (Stromschleife 20 mA)
Länge der Verbindungsleitung	bis 5 km
Betriebsart des Nachrichtensystems	Halbduplex
Schutzverfahren der Information	störsichere Kodierung und Dekodierungskanal
Informationsdurchsatz	300 Bit pro Sekunde
Zahl der Verbindungsleitungen	bis 33 Stck

Die Steuerschränke der Kraftanlagen realisieren unmittelbare Steuerung des Krans nach den vom Kranführerstand aus Übertragenen Steuergesetzen, Erfassung und Verarbeitung der Informationen von den Gebern, Übermittlung der Angaben über den Zustand der Mechanismen an den Kranführerstand.

Die Steuerschränke enthalten Steuerschalter, Steuerschalter, aufgebaut auf denselben, wie der Kranführerstand, Kraft-Schaltapparatur (Magnetanlasser) für die Steuerung der Elektromotoren, Speisungsquellen der Eingang- und Ausgangszellen von Steuerschaltern und Gebern.

Technische Daten eines Steuerschalters	
Typ des Mikroprozessorsatzes	Serie KP 580
Speicherkapazität	bis 64 Kbyte
Speichersystem	ROM, RAM, energieunabhängiger RAM
Speicherdauer der Information im energieunabhängigen RAM nach der Abschaltung der Speisespannung	mindestens 60 h

Zahl der Eingangssignale	48
Eingangssignalspegel	10 ... 30 V
Eingangsstrom	höchstens 10 mA
Zahl der Ausgangssignale	48
Ausgangssignalspegel	24 V
Ausgangsstrom höchstens	0,1 A
Art der Verbindungsleitung Länge der Verbindungsleitung	bis 5 km
Betriebsart des Nachrichtensystems	Halbduplex
Informationsdurchsatz	300 Bit pro Sekynde
Schutzverfahren der Information	störsichere Kodierung und Dekodierungskanal
Schutzgrad eines Steuerschranks der Kraftanlage	mindestens 1P54 lt GOST

Die Steuerschränke der Kraftanlagen sind für den Betrieb im Temperaturintervall von plus 5 °C bis 45 °C in der Umluft mit der Konzentration der Dämpfe der Schwefelsäure 2 mg/m³ ausgelegt.

Ein Steuerschalter umfaßt nachstehende Baugruppen:

- Mikro-ERM-Zelle;
- RAM-Zelle; (1 bzw.2);
- Eingabezelle;
- Ausgabestelle;
- sekundäre elektrische Speisungsquelle.

Die Verbindung des Steuerschalters mit dem Kranführerstand wird mittels einer Zweidraht – Verbindungsleitung realisiert. Für die Sicherung der Störfestigkeit wird in der Eingabe – und Ausgabestellen eine galvanische Auskopplung von Eingangs – und Ausgangsstrom-kreisen vorgesehen; in der Verbindungsleitungen wird eine störsichere Kodierung mit der Informations-Rückkopplung angewendet, d.h. mit der Wiederholung der Übertragung (d. Zurückfrage) beim Auffinden etwaigen Fehlers im Empfänger der Information.

Die Prozeßverbindungseinheit dient für die Verbindung mit den in den Steuerschränken der Kraftanlagen installierten Steuerschaltern, realisierbar über eine Zweidraht- Verbindungsleitung, für die Erfassung der Daten, die von den Steuerschränken der Kraftanlagen ankommen, über den Zustand der Mechanismen, für Steuerbefehlsgabe an die letztgenannten sowie für den Informationsaustausch mit der Informationseingabe- und Anzeigevorrichtung.

Die Funktionaleinheiten der Prozeßverbindungseinheit sind:

- Mikro-ERM-Zelle;
- Ram-Zelle;

- Eingabezelle;
- sekundäre elektrische Speisungsquelle.

Die Verbindung mit den Steuerschränken erfolgt über radiale Zweidraht-Verbindungsleitungen, angeordnet an der Mikro-ERM-Zelle.

Das Strukturschema des MPS eines Kranes, aufgebaut auf der Basis des "ИТОК-2У" ist im Bild 5.4 dargestellt. Die Bezeichnungen auf dem Schema sind die folgenden:

DP – Dispatcherpult für die Steuerung des Krans kann sowohl auf dem Kran selbst, als auch stationär im Stützfeld einer Werkhalle installiert werden; im letzten Falle wird der Kran ferngesteuert;

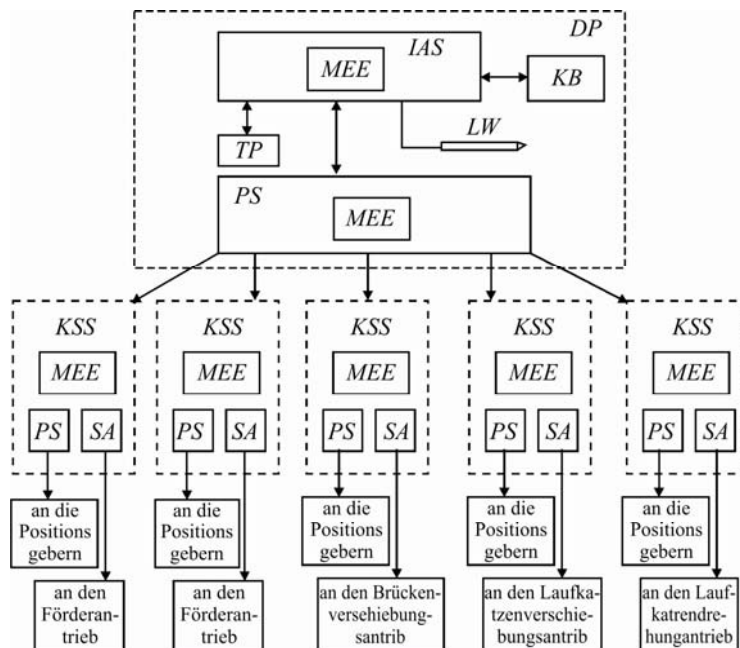


Abb. 5.4. Bauart eines Mikroprozessorsteuerungssystem auf der "ИТОК-2У"-Basis

IAS – Informationseingabe- und Anzeigevorrichtung stellt ein Leuchtschaltbild in Kleinbauweise dar, in welchem sowohl der technologische Vorgang, an dem der Kran beteiligt ist, als auch die Lage der Kranmechanismen zu jeder Zeit und Ergebnisse einer Diagnostik wiedergegeben werden; mittels einer Lichtgriffels kann eine Operation für den Kran eingegeben werden;

LW – Lichtgriffel wird für die Eingabe einer Operation für den Kran über das Leuchtschaltbild benutzt;

KB – Kranführerstand des Bedienungsmannes (des Kranführers) – stellt den technologischen Steuerpult des Krans dar und dient für die Eingabe der Operationen (in automatischer Betriebsart) oder für direkte Handsteuerung der Kranmechanismen;

TP – technisches Pult – das Testpult des Programmausprüfers für das Austesten der Hardware des Systems, Ausprüfen und Handeingabe der Programmen (beim Normalbetrieb kann abgenommen werden);

PS – Prozeßverbindungseinheit (im vorliegenden Fall – mit den Kranmechanismen);

MEE – Mikroprozessor – Einplatten-einbaublock für verschiedene technologische Ausrüstung;

KSS – Kraft-Steuerschrank – dient für direkte Steuerung der Antriebe von Kranmechanismen sowie für die Erfassung und Primärverarbeitung der Signale von den Gebern mit nachfolgender Übertragung der Daten an das Dispatcherpult; wird unmittelbar auf dem Kran montiert;

SA – Schützeinheit, angeordnet im Kraft-Steuerschrank; sie dient für die Steuerung von Kranmotoren; die Leistungskreise der Schützeinheit sind parallel den Starkstromkontakten handbetätigter Meisterschalter des Krans geschaltet (analog der Schützeinheit des Steuerungssystems auf der Basis vom MKP-1).

5.4. Датчики мікропроцесорної системи.

Geber des Mikroprozessorsystems

Als Rückkopplungsgeber in bezug auf die Lage der Mechanismen wurden Kontaktstreckenschalter Typ BK-15 für die Variante des MPS auf der Basis des MKP-1 und kontaktlose Streckenschalter Typ ВПБ-14 für diejenige auf der Basis des Komplexes "ПТОК-2У" gewählt. Jedoch bleibt die Gesamtstruktur der Systeme von Gebern praktisch unverändert - unabhängig vom Typ der angewendeten Streckenschalter.

Das System von Rückkopplungsgebern bildet einen Bestandteil des MPS und dient für die Erfassung und Übertragung der Information vom Steuerungsobjekt (dem Kran) an die Steuereinrichtungen (Steuerschalter und eine zentrale ERM). Es stellt eine parallelwirkende Struktur dar, bestehend aus nachstehenden Subsystemen:

D1 – Subsystem der Ermittlung der Lage des Krans auf beliebigem Abschnitt der Arbeitszone;

D2 – Subsystem der Ermittlung der Lage der Kranlaufkatze;

D3 – Subsystem der Zustandskontrolle des Greifers;

D4, D5 – Subsystem der Änderung der Hubhöhe einer Last.

Bei der Erarbeitung des Systems von Rückkopplungsgebern wurden äußerst schwierige Betriebsbedingungen berücksichtigt, u.z.:

- Aggressivität des umgebenden Mediums;
- Vibrationen;
- starke elektromagnetische Felder;

- erhöhte Temperaturen;
- Vorhandensein größerer Spiele in den Antriebselementen.

Sämtliche Subsysteme sind auf dem Kranbrücken und auf der Kranlaufkatze angeordnet.

Bei der Errötung der Frage der technischen Realisierung des Systems der Rückkopplungsgeber wurden verschiedene Varianten sowohl des strukturellen, als auch des Elementenaufbau des letztgenannten analysiert. bei der Wahl der Variante wurden hohe Anforderungen an die Genauigkeit des Positionierens des Objektes, die Betriebsbedingungen, Vorhandensein der serienmäßig herstellbaren Bestandteile des Systems mit berücksichtigt.

Für die Lösung ähnlicher Probleme finden optische Entfernungsmesser und Sinus-Kosinys-Drehtransformatoren breite Anwendung. Sie gewähren hohe Meßgenauigkeit bei der Ermittlung von Abständen, besitzen jedoch eine Reihe von Nachteilen, die deren Anwendung in dem zu erarbeitenden System unmöglich machen. Die optischen Systeme erfordern sorgfältige Pflege optischer Oberflächen der Ausstrahler und Empfänger, deren Abstimmung ist kompliziert und sieht hohe Qualifikation des Bedienungspersonals voraus. Außerdem ist eine recht komplizierte elektronische Apparatur für die Kopplung solch eines Systems mit der ERM erforderlich. Die Systeme mit Sinus-Kosinus-Drehtransformatoren bedürfen des Vorhandenseins präziser Übertragungsglieder (Zahnstangen, Ritzel, Getrieben), welche aber an und für sich zusätzliche Fehler hervorrufen können, die u.U. die zulässigen Fehler weitaus überschreiten. Auch in diesem Fall ist das Vorhandensein komplizierter Elektronik als recht nachteilig zu betrachten. Gerechtfertigt ist also der beschluß, einfache und betriebssichere Positionsgeber statt komplizierter Meßgeräte im System anzuwenden. Als solche Positionsgeber kommen Kontakt- bzw. kontaktlose Streckenschalter in Frage. Diese Geber ermöglichen es, praktisch alle gestellten Aufgaben zu lösen, sie besitzen erforderliche Genauigkeit, sind betriebssicher und einfach zu bedienen.

Die Einsichtnahme in die Praxis mehreren inländischen Unter-nehmungen und einer Reihe von Auslandsfirmen, wie, z.B., "Baluff", "Omron" u.a. zeugt davon, daß die induktiven kontaktlosen Streckenschalter in den Positionierungssystemen von robotisierten Manipulatoren und numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen breite Anwendung finden. Sie zeichnen sich durch hohe Präzision, Betriebssicherheit auch beim Einsatz unter extremalen Betriebsbedingungen, reichhaltiges Sortiment (in bezug auf die Erzeugnisse ausländischer Firmen der Deutschland, Japans, der USA, Schwedens, Italiens) aus. In dem Verzeichnis solcher Geber, die von inländischen Produzenten hergestellt werden, fehlen, leider, Streckenschalter mit größerem Ansprechbereich (50...100 mm); infolgedessen ist die Entwicklung von informatiinsverarbeitenden Systemen für Objekte, die die größeren Verstellungen in der Ebene, senkrecht zur Richtung der zu kontrollierenden Bewegung, ausführen, wesentlich erschwert.

Die Positionsgeber des Krans (Subsystem *D1*) sichern die Messung der Stellung des Krans in gesamter Länge des Verstellweges.

Als Geber sind 8 kontaktlose Streckenschalter Typ БПБ-14 vom Induktionstyp, mit dem Stellglied aus Stahl Cr 35, angewendet. Die Streckenschalter sind im Sonderkonstruktions-büro des Elektroapparatenwerkes in Charkow konstruiert und in der Produktionsvereinigung "Kontakt", die Stadt Kiew, hergestellt. Die Geber gewährleisten den Normalbetrieb bei dem Arbeitsluftspalt zwischen dem Steuer- und dem Fühlglied bis max 1,5 mm. Für die Sicherung des störungsfreien Ansprechens im Betriebstemperaturbereich von minus 25 bis plus 70 °C ist es zweckmäßig, den Nennwert des Arbeitsluftspaltes gleich 10 ± 3 mm zu wählen. Dabei wird die Ansprechgenauigkeit höchstens ± 10 mm gewährleistet. Der Anfangswert des Arbeitsluftspaltes und der Bereich dessen zugelassenen Werte sind mit erforderlicher Genauigkeit der Ermittlung der Lage des Objektes verbunden. Bei der Vergrößerung der Toleranz auf die Abweichung des Arbeitsluftspaltes vom Nennwert (die Hälfte des maximal zugelassenen Arbeitsluftspaltes) ist es erforderlich, für die Sicherung erforderlicher Genauigkeit des Meßkanals den Streubereich des Ansprechens von Gebern zu korrigieren, welcher durch die Schaltdifferenz des Laufs verursacht wird.

Der Streubereich der Ansprechpunkte bei der Bewegung des Objektes in die eine und in die andere Richtung ("vorwärts, "rück – wärts"), verursacht durch die Schaltdifferenz des Laufs, kann 0...30 mm betragen. Es ist also erforderlich, eine additive Korrektur bei der Bearbeitung der Information über die Lage des Kranes einzuführen. Der Absolutwert und das Vorzeichen der Korrektur werden entsprechend ausgehend von dem Arbeitsluftspalt und der Laufrichtung ermittelt.

Da die Werte des Arbeitsluftspaltes im verhältnismäßig breiten Bereich geändert werden, wird die Hälfte des Wertes der Schaltdifferenz des Laufs beim Nennwert des Arbeitsluftspaltes als der Absolutwert der Korrektur gewählt. Für die Geber Typ БПБ-14 kann der Nennwert des Arbeitsluftspaltes gleich 7,5 mm gewählt werden, wobei die Schaltdifferenz 20 mm und die Korrektur 10 mm betragen. Die Einführung dieser Korrektur erfolgt auf programmierbare Weise.

Somit kann die erforderliche Genauigkeit bei dem Wert des Arbeitsluftspaltes gleich $7,5 \pm 6,5$ mm gewährleistet werden.

Konstruktiv ist der Streckenschalter in einem rechteckigen wasserdichten Gehäuse mit seitlicher (БПБ 4285-330110-X4) oder stirnseitlicher (БПБ 14285-430110-X4) Anordnung des Fühlgliedes ausgeführt. Der Streckenschalter wird mit der Gleichstromspannung 24 V gespeist. Der zulässige Belastungsstrom beträgt von $I = 0,03$ A bis 0,2 A. Die Ansprechfrequenz f beträgt 100 Hz.

Bei der Wahl eines Schemas der Anordnung von Gebern der Lage des Krans soll berücksichtigt werden, daß der Kran während des Laufs längs der Kranbahn sich senkrecht zur Laufrichtung nicht unwesentlich verstellen kann. Mit fortwährendem Verschleiß der Spurrinne von Laufrädern nimmt erwähnte Verstellung zu. Ausgehend davon werden zwei alternative Befestigungsschemen der Geber der Kranlage vorgeschlagen, welche die

Stabilität des Spielraums zwischen den Gebern und deren Steuergliedern (Schienen) zu gewähren haben.

Laut dem 1. Schema werden Geber mit seitlicher Anordnung des Fühlgliedes eingesetzt, wobei die Verstellung des Krans Keine Änderung des Spielraums hervorruft. Andere Faktoren, die den Spielraum auf irgendwelche Weise ändern könnten (Deformationen der Stahlkonstruktionen des Krans, der Schiene u.ähnrl.) sind unwesentlich.

Laut dem 2. Schema der Befestigung von Gebern der Kranlage wird die Stabilität des Luftspaltes dadurch gesichert werden, daß der ganze Block der Geber gefedert gegenüber dem Fahrbahnträger zu montieren ist. In diesem Fall werden Geber mit stirnseitiger Anordnung des Fühlglieds eingesetzt werden. Die Lage des Krans wird aus der Kombination eingeschalteter Geber ermittelt; an der Bord-Mikrokompressor kommt die siebenstellige Gray-Kode an, die es ermöglicht, 128 verschiedener Punkte oder Zonen zu ermitteln. Der achte Geber dient für die Kontrolle der Intaktheit der restlichen sieben Geber und sich selbst (im weiteren wird dieser Geber als "Kontrollgeber" genannt).

Mittig in einigen der Zonen sind Kontrollabschnitte der Geber angeordnet. Hier erfolgt die Kontrolle der Intaktheit sämtlicher Geber der Lage des Krans. Daraus resultiert die Benennung "Kontrollabschnitte".

Bei den intakten Gebern soll die gleiche Kode in sämtlichen Kontrollabschnitten an den Mikroprozessor ankommen. Dabei sollen sämtliche Geber am Anfang und am Ende eines Kontrollabschnittes abgeschaltet und in dessen Mitte eingeschaltet werden.

Die Geber der Lage der Laufkatze (Subsystem *D2*) sind prinzipiell ebenso konstruiert, wie diejenigen der Lage des Kranbrückens. Auf der Krankaufkatze sind vier Positionsgeber Typ БПБ 14 anzuordnen. Einer dieser Positionsgeber ist der Kontrollgeber. Die Befestigung sämtlicher Geber erfolgt analog derjenigen des Subsystems *D1*. Die Steuerglieder (Schienen) werden längs des Kranbrückens angeordnet. Es sei 5 Kontrollpunkte, 2 Zwischenzonen und 2 Kontrollabschnitte gesondert.

Die Geber der Zustandskontrolle des Greifers (Subsystem *D3*) sind in der Form eines Differentialgetriebes ausgeführt (Abb. 5.5), welches auf der Kranlaufkatze abgeordnet ist. Das Differentialgetriebe enthält das Schraubenpaar 1, 2, verbunden mit der Stütztrommel 1 bei der Umdrehung der Führung 6 über das Kegelradgetriebe 11, und das Schraubenpaar 3, 4, verbunden mit der Schließtrommel 15 über das Kegelradgetriebe 14. Die Gangmutter 2 kann längs der Führung 5 bei der Drehung der Spindel 1 und die Gangmutter 4 längs der Führung 6 bei der Drehung der Spindel 3 verschoben werden. Die Gewindesteigung beider Spindel ist gleich. Auf der Gangmutter 4 sind zwei Endschalter 12 und 13 angeordnet. Der Endschalter 12 wirkt mit dem Hebel 9 zusammen und gibt das Signal über das Öffnen des Greifers aus. Der Endschalter 13 wirkt mit dem Hebel 8 zusammen und gibt das Signal über das Schließen des Greifers aus. Die Hebel 9 nachstellbar ausgeführt ist, so daß seine Lage längs der Spindel deändert werden kann. Auf der Gangmutter 2 ist ebenfalls der Hebel 7 vorgesehen, welcher mit fest auf dem Gestell des Differentialgetriebes angeordneten Gebern 10 zur Signalabgabe

über die Erreichung durch den Greifer vorgegebener Hubhöhe zusammenwirkt. Beim gleichzeitigen Fahren beider Hubwinden verstellen sich Gangmutter 2 und 4 längs der Spindel synchron. Der Zustand des Differentialgetriebes, dargestellt in der Abb. 5.5, entspricht dem vollständigen Öffnen des Greifers und dessen Maximalhubhöhe.

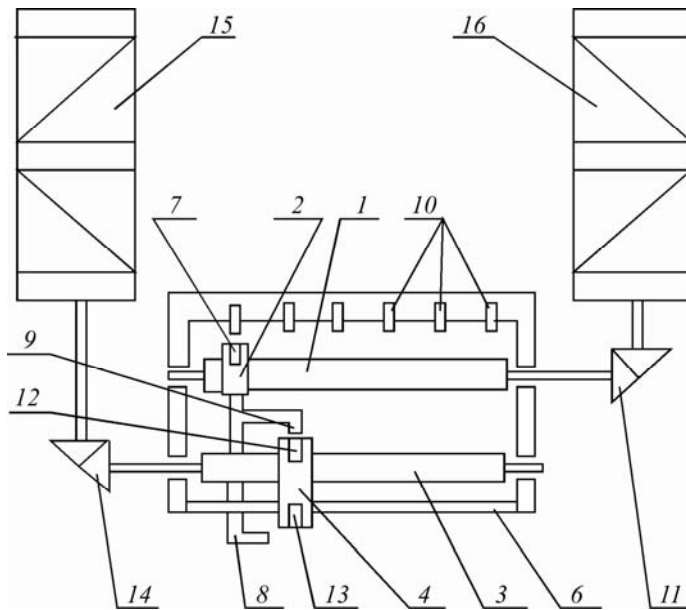


Abb. 5.5. Differentialmechanismus und Greiferzustandgeber

Die Geber der Lasthubhöhe (Subsystemen *D4* und *D5* – je eine für jeden der Hubmechanismen) dienen für die Genauigkeitskontrolle des Positionierens einer Last nach der Höhe. Als wahrscheinliche Kriterien der Hubhöhe einer Last können die Drehung der Trommel oder der Ausgleichrolle, die auf der Kranlaufkatze angeordnet sind, angenommen werden. Jedoch ist die Verbindung mit der Drehung der Trommel und der Seillänge nicht eindeutig, da die Seilwicklung auf der Trommel unter realen Bedingungen verworren erfolgt. Vorgeschlagen ist also die Ermittlung der Hubhöhe einer Last anhand der Drehung der Ausgleichrolle, auf welcher das Rutschen des Seils bzw. das Überlagern der Seile ausgeschlossen sind.

Die Ermittlung der Förderung der Last erfolgt mittels eines kontaktlosen Streckenschalters БИБ-18 durch das Zählen der Ansprechzahl des Schalters beim Passieren der Arbeitszone der Zähne eines mit der Ausgleichrolle fest verbundenen Zahnrades. Die Zähne des Zahnrades treten also als Steuerglieder auf und sind mit der Teilung angeordnet, die die erforderliche Genauigkeit sichert. Beim Fehler 20 mm und dem Zahnrad Durchmesser $d = 250$ mm soll die Zähnezahzahl mindestens 40 betragen. Für die Ermittlung der Förderrichtung der Last sind im Subsystem zwei Streckenschalter vorgesehen, welche um einen fixierten Abstand voneinander verschoben angeordnet sind. Die Reihenfolge des

Ansprechens bestimmt die Bewegungsrichtung der Subsysteme D1 und D2. Das Subsystem D4 gibt die Information über die Förderung der Last, doch nicht über ihre Lage. Die Funktionen der Speicherung der Information über die Lage einer Last hat der Steuerschalter zu übernehmen. Der Impulszähler wird nullgestellt durch ein Signal des Bezugsgebers, welcher auf die Weise eines typischen Endschalters funktioniert. Der Bezugsgeber spricht an, wenn sich die Last oben in fixierter Endhöhe befindet. Im weiteren sei diese Höhe "die Förderhöhe" genannt. Für dietechnische Realisierung kann zu diesem Zweck der kontaktlose Endschalter Typ ВПБ-14 bzw. beliebiger anderer Endschalter angewendet werden. Für gegenseitige Kontrolle der Intaktheit ist es angebracht, paarweise gekoppelte Endschalter aufzustellen.

Somit enthält das System der Rückkopplungsgeber 5 Subsysteme, wobei jedes Subsystem folgender Satz der Geberhet:

Subsystem 1	8 Positionsgeber
Subsystem 2	4 Positionsgeber
Subsystem 3	10 Positionsgeber
Subsystem 4	2 Impulsgeber
Subsystem 5	1 Bezugsgeber (paarweise eingeschaltet)

5.5. Застосування електричного регульованого привода.

Anwendung von elektrischen Regelantrieben

5.5.1. Електричний тиристорний привод постійного струму. Elektrischer Gleichstromthyristor Antrieb

Die Vorzüge eines Gleichstromantriebes, wie, z.B. hohe Regeltiefe, Linearität der mechanischen Kennlinie, Einfachheit und Stetigkeit der Steuerung sind allgemein bekannt. Das Erscheinen steuerbarer Thyristorgleichrichter hat den Anwendungsbereich der Gleichstrommotoren nicht unwesentlich erweitert, obwohl sie verhältnismäßig teuer sind. Gegenwärtig werden Gleichstromantriebe von führenden ausländischen Herstellerfirmen der Förder und Hebertechnik breit angewendet, insbesondere für Krantypen, welche den Massengüterumschlag mit erhöhter Positionierengenauigkeit ausführen bzw. in automatischer od. halbautomatischer Betriebsart einzusetzen sind (Stapelkräne, Containerkräne, Greiferkräne und Überladegeräte. Besonders vorteilhaft ist das Vorhandensein in Gleichstrom-Thyristorantrieben eines integrierten automatischen Regelungssystems, die die Steuerung und Stabilisierung der Drehzahl und des Drehmomentes des Antriebsmotors ermöglicht. Das System des Selbstausgleichs ermöglicht die Realisierung praktisch beliebigen Gesetzes der Steuerung der

Geschwindigkeit eines Mechanismus. Eben diese Besonderheit des Thyristorantriebes ist die ansprechendste bei der Entwicklung der Systeme der optimalen Steuerung der Kräne bzw. der Kranmechanismen.

5.5.1.1. Tunova bydova mupustopnogo nprivoda. Typenstruktur des Thyristorantriebes

Es sie die Typenstruktur eines Gleichstrom-Thyristorantriebes anhand des serienmäßig herstellbaren komplexen Elektroantriebes Typ ET-6 erörtert. Die Strukturschaltung dieses Antriebs ist in der Abb. 5.6 dargestellt und enthält:

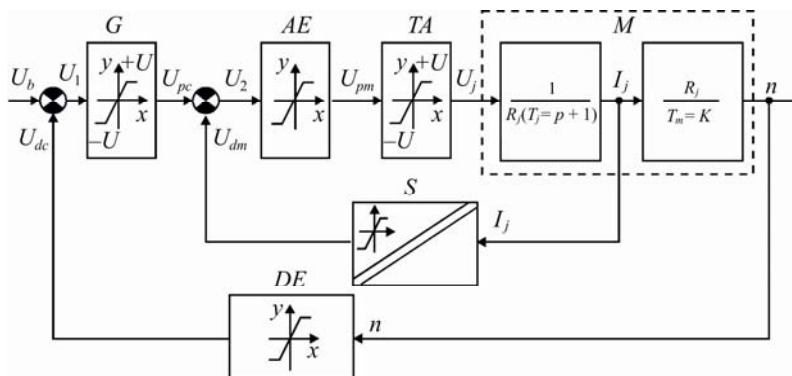


Abb. 5.6. Strukturschema des Elektroantriebs ET-6

G	Geschwindigkeitsregler;
AE	Ankerstromregler des Elektromotors;
S	Stromgeber;
DE	Drehzahlgeber des Elektromotors;
TA	Thyristorwandler des Ankerstromkreises;
M	Elektromotor Kurzbezeichnungen der Arten der Signale
U_ζ	Steuerspannung (Geschwindigkeitsvorgabe)
U_{dc}	Spannung des Drehzahlgebers (tatsächliche Geschwindigkeit)
ΔU_1	Nichtübereinstimmung am Eingang des PC;
U_{pc}	Ausgangsspannung des Geschwindigkeitsreglers;
U_{dm}	Spannung des Stromgebers;
$\Delta U_2 = U_{pc} - U_{dm}$	Nichtübereinstimmung am Eingang des PT;
U_{pm}	Ausgangsspannung des Stromreglers;
U	Ankerspannung des Elektromotors;
I	Ankerstrom des Elektromotors;
n	Rotationsfrequenz der Motorwelle.

In der Abb. 5.6 ist der Elektromotor bedingt in der Form zweier reihengeschlossener Glieder mit ihren eigenen Übertragungsfunktionen dargestellt. Das Glied 1 und dessen Übertragungsfunktion spiegelt die elektromagnetischen und das Glied 2 – die elektromechanischen Vorgänge im Elektromotor wider. Die Bezeichnungen der Größen in den Ausdrücken für die Übertragungsfunktionen der Glieder 1 und 2 sind:

R_j	Ersatzwiderstand der Ankerstromkette;
T_j	elektromagnetische Zeitkonstante der Ankerstromkette;
p	Differentiationsoperator;
T_M	elektromechanische Zeitkonstante des Antriebes;
K	Konstruktionskoeffizient des Elektromotors.

In funktionaler Hinsicht besteht der elektrische Antrieb aus zwei geschlossene Regelkreise für unterlagerte Regelung: dem Stromkreis ($PT - TP - \text{Glieder 1} - DT$) und dem Geschwindigkeitskreis ($PC - \text{Stromkreis-Glieder 2} - DC$). Der Geschwindigkeitskreis ist der äussere und bestimmende in bezug auf den Stromkreis. Aus diesem Grunde wird die Stromstärke (Antriebsmoment) im Laufe der Geschwindigkeitsregelung selbsttätig so eingestellt, daß die erforderliche statische und dynamische Regejugenauigkeit der vorgegebenen Geschwindigkeit aufrechterhalten wird. Dabei stabilisiert der Stromregler selbsttätig und unabhängig die erforderliche GröÙe des Antriebsmomentes bei den Unregelmäßigkeiten verschiedener Art, herrührend von der Mechanismen.

5.5.1.2. Головний принцип функціонування привода. Hauptprinzip der Funktion des Antriebes

Beim Vorhandensein einer Nichtübereinstimmung ΔU_1 zwischen den Signalen der Eingabe U_{dc} und der tatsächlichen Geschwindigkeit U_{pc} wird am Ausgang des PC das Signal U_{pc} geformt, welches die Aufgabe der Stromstärke (des Momentes) des Elektromotors darstellt. Auf dem Eingang vom PT wird das Signal U_{pc} mit dem fließenden Wert des Motorstroms (dem Signal U_{dm}) verglichen beim Vorhandensein einer Nichtübereinstimmung ΔU_2 wird vom PT das Signal U_{pm} geformt, welches den Wert des elektrischen Zündwinkels von Leistungsthyristoren TP d.h. den Spannungswert U_j , der dem Motor zugeführt wird, festlegt. Mit der Verminderung der Nichtübereinstimmung ΔU_1 erfolgt die Stabilisierung der Rotationsfrequenz der Motorwelle auf dem Pegel, proportional der Sollwertspannung U_j . In dem Selbstregelungssystem ist die Begrenzung der GröÙe des Antriebsmoments auf erforderlichem Pegel durch Eingabe der Begrenzung des Ausgangssignals des PC auf dem Pegel U_{cmp} realisierbar.

5.5.1.3. Конструкція і компонування комплексного електричного привода.

Konstruktion und Zusammensetzung eines komplexen elektrischen Antriebes

Der komplexe Thyristor Antrieb Θ_{16} besteht aus nachstehender wichtigster Baugruppen :

- dem Anpassungstransformator TCT-10 УХЛ 4;
- dem Elektromotor Typ 2 ПБ mit integriertem Tachogenerator;
- den Glättungsdrossel (Reaktanzspulen) Typ PT-2 Stck;
- dem Thyristorumformer.

Der Thyristorumformer umfaßt das Leistungsschema (thyristorisiert) und einer Reihe der Steuerungsbaugruppen (des Schutzes, eines Systems der Impuls- und Phasensteuerung, der Logik, der Stromregler und -geber, der Kontroll- und Signalisationsstromkreise), angeordnet auf den Montageplatten in einem gemeinsamen Gehäuse. Ein- bzw. abgeschaltet wird der Antrieb mittels der Tasten "EIN" und "AUS", welche getrennt zu montieren sind. Die Rotationsgeschwindigkeit des Elektromotors und dessen Drehsinn werden mittels eines Potentiometers und eines Umschalters der Drehrichtung eingegeben. Die komplettierenden Baugruppen des Antriebes sind für die Montage innerhalb eines Schaltschranks ausgelegt. Die minimal zulässigen Abmessungen eines Schaltschranks sind $600 \times 600 \times 1200$ mm.

5.5.1.4. Варіанти керування швидкістю усередині МПС. Varianter der

Geschwindigkeitssteuerung innerhalb des MPS

Für die Realisierung der optimalen Steuerung der Mechanismen, die den Kran und die Laufkatze in Bewegung setzen, sind grundsätzlich zwei Hauptvarianten möglich:

- Steuerung der Rotationsgeschwindigkeit des Elektromotors mit automatischer Stabilisierung des Drehmomentes;
- Unmittelbare Steuerung des Drehmomentes des Elektromotors.

Bei der Steuerung der Rotationsgeschwindigkeit soll der Mikroprozessor zu jedem Zeitpunkt das Eingangssignal U_3 in der Form einer Analogiespannung an den Eingang von PC zuführen. Im Falle, wenn im Satze des MPS der Mikroprozessor-Kranfahrerschalter Typ MK-1 eingesetzt wird, entsteht die Notwendigkeit, einen zusätzlichen Digital-Analog-Wandler (CAP) anzuwenden, weil dieser zum Satze des MKP-1 nicht gehört. Der einfachste Digital-Analog-Wandler ist auf der Basis von sechs Schaltern (bzw. Schutzrohrkontaktrelais) und einer Widerstandsmatrix Typ R-2R aufgebaut. In der Übereinstimmung mit optimalem Steuerungsgesetz formt der Mikroprozessor zu jedem Zeitpunkt das Signal der Geschwindigkeitseingabe an den Steuerausgängen in der Gestalt eines sechsstelligen binären Codes. Dabei wird entsprechende Gleichspannungsgröße am Ausgang der Matrix des Digital-Analog-Umwandlers geformt. Somit gibt der Mikroprozessor bei der sich von der Null bis zum Nennwert ändernden Geschwindigkeit des Mechanismus 64 Werte des Codes (von 2^0 bis 2^6) aus, und am Ausgang des Digital-Analog-Wandlers erscheinen entsprechende 64 Werte der Steuerspannung für Geschwindigkeitseingabe. Somit wird bei der Anwendung eines

sechsstelligen Digital-Analog-Wandlers die Tiefe der Geschwindigkeitsregelung eines Mechanismus gleich 1:64 realisiert. Diskreter Wert jeder Spannungsstufe beträgt 0,03 m/s für den Antriebsmechanismus des Kranbrückens und 0,01 m/s für denjenigen der Kranlaufkatze. Der Fehler, hervorgerufen durch die Diskretheit der Befehlsausgabe, überschreitet kaum 1,5 %, hat also keinen praktischen Einfluß auf die Genauigkeit des Abarbeitens durch einen Mechanismus des optimalen Steuerungsgesetzes. All das läßt die Behauptung zu, daß die sechs Stellen des Digital-Analog-Umwandlers (64 Stufen) den praktischen Anforderungen in bezug auf die Regelungstiefe der Geschwindigkeit von Mechanismen beim Abarbeiten durch ein Mechanismus optimaler Steuerungsgesetze vollkommen genügen.

Die zweite Variante der Steuerung des Antriebes einer Verstellung sieht die Befehlsgabe unmittelbar auf den Eingang des Stromreglers *PT* voraus. Dieses Verfahren führt zur wesentlichen Vereinfachung des Steuerungsprogramms und sparsameren Ausnutzung der Speicherkapazitäten, vergrößert aber den Fehler bei dem Abarbeiten des Steuerungsgesetzes. Für die Realisierung erwähnter Variante der Steuerung ist es erforderlich, den Geschwindigkeitsregler *PC* mit einem Nebenschluß zu versehen, den Tachogenerator *DC* abzuschalten und den Steuerungseingang des Thyristorwandlers mittels einer Brücke auf der Leiterplatte der Regler des Umwandlers unmittelbar mit dem Eingang des Stromreglers *PT* zu koppeln. Die Form der Steuerspannung U_3 für diese Steuerungsvariante entspricht vollkommen der rechenmäßig ermittelten Umschaltdiagramm des Optimalgesetzes. Wesentlicher Vorzug dieser Variante der Steuerung besteht darin, daß der Mikroprozessor in seinem Steuerungsprogramm lediglich 3 Werte des Codes eines Steuersignals, u.z. U_{\min} , U_{\max} , 0 benutzt. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß man für die Realisierung des optimalen Steuerungsgesetzes das tatsächliche Widerstandsmoment, das der Bewegung des Mechanismus entgegenwirkt, kennen muß. Beliebige Änderung diesen Momentes während des Bewegungsvorgangs des Krans bzw. der Kranlaufkatze ruft den Fehler des Positionierens und bestimmte Restschwankungen hervor.

5.5.1.5. Розміщення обладнання на крані. Anordnung der Ausrüstung auf dem Kran

Bei der Benutzung komplexer Gleichstromantriebe für Antriebsmechanismen des Krans und der Kranlaufkatze ist nachstehende Variante der Anordnung von Baugruppen des Systems empfehlenswert. Ein MPS besteht (ohne Berücksichtigung der Rückkopplungsgeber) aus nachstehenden Baugruppen:

- dem Schaltschrank des Antriebes für den Mechanismus der Kranlaufkatze – 1 Stck;
- den Schaltschränken der Antriebe für Mechanismen des Krans – 2 Stck;
- dem Schaltschrank der Zwischenrelais – 1 Stck;
- dem Kranführerstand mit dem Mikroprozessor – 1 Stck.

Der Schaltschrank des Antriebes für den Mechanismus der Kranlaufkatze wird auf dem Kranbrücken auf der Seite der Stromzuführung an die Kranlaufkatze angeordnet. Die Schalts-

chränke des Antriebes für Mechanismen des Kranbrückens werden auf dem Kranbrücken unmittelbar über dem Kranführerhaus aufgestellt. Der Schaltschrank von Zwischenrelais wird innerhalb des Kranführerhauses in unmittelbarer Nähe von der Schalttafel der Selbstschalter angeordnet. Der Kranführerstand wird vor dem Kranführer montiert. Die Bedienungsorgane des Kranführerstandes sollen innerhalb der Reichweite des Kranführers liegen.

In den Kranführerstand werden eingebaut:

- der Mikroprozessor;
- Netzfilter der Einspeisung des Mikroprozessors;
- Notdruckknopfschalter;
- Steuerhebel der Antriebe der Bewegungen und der Geschwindigkeitsaufgabe (für Handsteuerung des Krans).

5.5.2. Застосування асинхронного привода. Anwendung der Asynchronantriebe

Gegenwärtig finden thyristorisierte bzw. transistorisierte Asynchron-Regelantriebe breite Anwendung. Sie beinhalten die Vorzüge sowohl der konventionellen Asynchronantriebe mit stufenweiser Geschwindigkeitsregelung, als auch der Gleichstrom-Thyristorantriebe. Für die Anwendung in dem Satze des MPS eines Krans kann das System der Kurzschluß-Asynchronantrieben der Baureihe Э МА, aufgebaut auf der Basis des gesteuerten Frequenzumformers mit integrierter Mikroprozessor-Regelungssystem, empfohlen werden. Außer der Hauptfunktionen wird im elektrischen Antrieb МА selbsttätige Kontrolle der Versagen im Antrieb selbst sowie in der technologischen Ausrüstung realisiert. Bei den breiten funktionellen Möglichkeiten erfordert der elektrische Antrieb keine qualifizierte Bedienung. Auf der Grundlage des Э МА wird die Möglichkeit der effektiven Steuerung der Kurzschluß-Asynchronmotoren von dem Э МА, eingesetzt in der Betriebsart eines Frequenzumformers mit unmittelbarer Kopplung, eingehend erörtert.

Das Steuerungssystem beinhaltet Möglichkeiten der Änderung dessen Hart- und Software; dadurch ist die Anpassungsfähigkeit an beliebige technologische Vorgänge gesichert. Das Vorhandensein ermöglicht die Vereinigung von elektrischen Antrieben zu einem einheitlichen produktionstechnologischen Netz und Eingliederung in ein automatisiertes Steuerungssystem der Produktionstechnologie als einer untergestellten Stuezebene. Die Zahl und die Typen von Ein- und Ausgängen, die Anwendung von Mikrokontrollern Serie КР1816 (Analogon der Firma Intel 8035, 8031 u.a.) ermöglichen die autonome Anwendung von Antrieben in der Automatisierungssystemen.

In der Tabelle ist eine Reihe von elektrischen Antrieben angeführt, die für die Serienfertigung zu empfehlen sind.

Tabelle 5.1

Typ	Nennstrom, A	Vorgeschlagene Varianten der Konstruktion	
		Außenmaße, mm	Masse, kg
Э MA-25	25	600×600×700	80
Э MA-60	60	600×600×700	100
Э MA-160	160	600×600×800	120
Э MA-250	250	600×800×800	140
Э MA-400	400	600×800×1000	180

Technische Hauptdaten des elektrischen Antriebes:

- Betriebsart – Aussetzbetrieb, ED = (25 40)%;
- Drehzahlstellbereich, D 20:1 (in der Perspektive 50:1);
- Ungleichförmigkeitsgrad im geschlossenen;
- Regelungssystem, höchstens 20% (in der Perspektive 10%);
- Hochlauf- und Bremszeit mit regelbarer Intensität v. 0,5 bis 20 s.

Der elektrische Antrieb ermöglicht:

- Sanftanlauf und -bremsung im Motor- und Bremsbetrieb;
- Stetiger Übergang zur Erhöhung/Verminderung der Geschwindigkeit im Motor/Brems-betrieb stoßfreie Reversierung;
- Steuerung mechanischer Bremse elektrische Bremsung (Gegenstrom-, dynamische, generatorische Bremsung);
- Stabilisierung der Geschwindigkeit, Strombegrenzung;
- Autotesten, Abrufen der Service-Information;
- Realisierung zusätzlicher betriebstechnologischer Funktionen in der Übereinstimmung mit eingegebenem Programm;
- Betriebsbedingungen Umlufttemperatur v. minus 10 bis plus 45°C (perspektivisch v. minus 40 bis plus 55°C);
- Relative Luftfeuchte bis 98% bei + 35°C;
- Umluft eines industriellen Küstengebietes (Schwefelgas, Chlorsalze u a.m.) Vibrationen mit der Frequenz von 1 bis 50 Hz und der Beschleunigung bis 2 g.

Erarbeitet von WTG "Energie", die Stadt Mariupol, Gebiet Donezk, Iljitsch-Str., 145/147.

5.6. Узгодження МПС з радіокеруванням. Kopplung des MPS mit einem Funksteuerungssystem

Als Funksteuerungssystem für Realisierung des ferngesteuerten Kranbetriebs wird ein standardisiertes System, hergestellt durch Produktionsvereinigung "KRAN", (die Stadt Alexandria), bzw. ein System des "W. I. Lenin"-Werkes für in Charkow vorgesehen. Bei der Erarbeitung der Kopplungssysteme wird minimaler Eingriff in das System, Ausschließung der Nacharbeit durch den Hersteller und Möglichkeit der Ausführung der Kopplung durch den Benutzer bzw. das Kranbauwerk postuliert.

Als Steuerbefehle für den Mikroprozessor "Einspeichern die Koordinate", "Ingangsetzung des Automaten", "Handsteuerung", "Zahl der Arbeitsspiele" wurden normale Befehle des Funksteuersystems über Zwischenwerte der Fahrgeschwindigkeit der Mechanismen des Krans angewendet, welche bei der Optimalsteuerung durch den Prozessor nicht erforderlich sind. Für bequemere Eingabe dieser Befehle werden im Schaltpult (dem Sender) vier Druckknöpfe Typ KM2 montiert, die anstelle der Mittenstellung des Betätigungsgriffes in die elektrische Schaltung des Senders eingeschaltet sind. Die Abarbeitung dieser Steuerbefehle erfolgt durch den Schaltschrank der Fernsteuerung (*DU*) über den Mikroprozessor, in welchem die Steuerfunktionen der Fernsteuerung im Vergleich zum Sender im Programm umbenannt werden.

Der Mikroprozessor wird in die Unterbrechungsstelle der Umschalt- und der Steuereinheiten der Fernsteuerung eingegliedert, wobei zusätzliche Relais Typ KM2 entsprechend der Zahl der Fernsteuerungskanäle einzumintieren sind. Der Mikroprozessor wird über Digital-eingabee- und ausgabeglieder eingeschaltet.

5.7. Алгоритми і програми МПС. Algorithmen und Programmen des MPS

Es sind Anwendungspakets für Errechnung der Aufgaben der Optimalsteuerung von Brückenkränen und Erarbeitung konkreter Steuerungsgesetze bei den sich ändernden Werten der Hubhöhe eines Greifers, dessen Masse (leer, voll), der Länge des Gehänges eines Greifers (eingerechnet der veränderlichen), der Masse des Kranbrückens und der Kranlaufkatze, der Widerstandskräfte, die der Bewegung des Kranes und der Laufkatze entgegenwirken, der Fahrgeschwindigkeiten des Krans und der Laufkatze. Es wurden außerdem Anwendungsprogrammen für die Optimalsteuerung mittels des MPS eines Brückenkrans Krantragfähigkeit 3,2 t mit Greifer.

5.7.1. Застосований пакет для досягнення оптимального закона керування. Anwendungspaket für Errechnung optimaler Steuerungsgesetze

Das Anwendungspaket "VAR" bezweckt die Synthese optimaler Steuerungsgesetze eines Greifer-Brückenkrans zwecks Steigerung dessen Produktivität. Die rechnerisch ermittelten Daten stellen die Grundlage der Steuerungsprogrammen für den Mikroprozessor dar.

Das Programmpaket besteht aus Haupt Programm "VAR" und aus vierzehn Unterprogramme: SWIZAC, SWITRA, CRAN, CRAH, FCL, FCT, RCT, XCT, UCT, HCT, SWIABC, RKF45, RKFS, FEHL. Gesamtzahl der Operatoren beträgt ca. 1000. Das Programmpaket war in der algorithmischen Sprache FORTRAN entwickelt und auf dem IBM PC – Rechner realisiert. Das Programmpaket ist vollständig autonom und benötigt keine mathematischen Standardprogrammen. Die Berechnung einer Variante des optimalen Steuerungsgesetzes beträgt 5–10 Minuten auf dem IBM PC XT. Die Ausgangsinformation kann Mann wie in der Tabellenform, als auch in der Kurvenform dargestellt. Es kann während einer Berechnung einige Variante des optimalen Steuerungsgesetzes bekommen.

Für die Berechnung sind die Ausgangsdaten vorzubereiten. Alle Daten sind in die Datei *.INP einzutragen, wobei jede Zahl besitzt eine getrennte Zeile. Die Ausgangdaten sind:

P1 – die Kranmasse (Laufkatzenmasse), kg;

P2 – die Lastmasse (Greifermasse), kg;

AK – die bewegende Kraft, N;

FT – die Bremskraft, N;

W – der Statische Widerstand, N;

XN – durchgegangener Weg, m;

V1 – Nenngeschwindigkeit des Krans, m/s;

D0 – Anfangslänge des Lastaufhänfen, m;

DK – Endlänge des Lastaufhänfen, m;

TP0 – die Zeit des Heben (des Hinunterlassen), s; (Bei der konstanten Aufhänhenlänge *TP0* = 0 und die Parametern *DK* und *TP0* sind nicht zu berücksichtigen.);

TNP – die Anfangszeit des Heben (des Hinunterlassen), s;

EPC – der Dämpfungsfaktor;

NR – Berechnungsnummer;

E – Berechnungsgenauigkeit;

TE – Zeitschritt für die Ergebnisseausgabe (Empfehlenswert *TE* = 0,25);

F – die Maximaldauer der Übergangsstufe (Empfehlenswert *F* = 5.);

N – die Aufteilungszahl der Übergangsstufe während der Optimumsuche (Empfehlenswert *N* = 9);

KR – die Zahl der Berechnungen (Falls *KR* > 1, so ist in der Ausgangsdatendatei die entsprechende Zahl der Parametersätze *P1*, *P2*,... *NR* vor auszusehen);

IP – die Ausdrucksanzeige.

$IP = 0$ – die Grundvariante – die vollständige Information wird ausgedruckt;

$IP = 1$ – in der Tabelle entfällt die Aufteilung jeder Stufe in die Intervalle;

$IP = 2$ – nur Anfangs- und Endwerte jedes Parameters innerhalb jedes Intervalls werden ausgedruckt;

$IP = 3$ – für die Kurvenzeichnung angepasste Ausdruck;

$IP = -1$ – die Berechnung wurde für einen Schritt ausgeführt, ohne genaue Positionierung der Brücke (der Laufkatze);

$IP = -(2...N)$ – die Berechnung wurde für N Schritten ausgeführt, wobei alle Identifikatoren und Massiv ausgedruckt werden.

Bei dem richtigen Abruf des Pakets VAR wird solche Information ausgedruckt:

– Ausgangsdaten;

– Optimaler Steuerungsgesetz in der Tabellenform.

Im Tabellenoberteil sind die Stufenparametern ausgedruckt.

Laufnummer, Anfangszeit und Endezeit der Stufe, Stufendauer und Steuerungscode.

Der optimale Steuerungsgesetz ist durch solche Abhängigkeiten dargestellt:

T – laufende Zeit, s;

$Y1$ – Verschiebung des Kranes (der Laufkatze), m;

$Y2$ – Geschwindigkeit des Kranes (der Laufkatze), m/s;

$Y3$ – Verschiebung des Lastes (des Greifers), m;

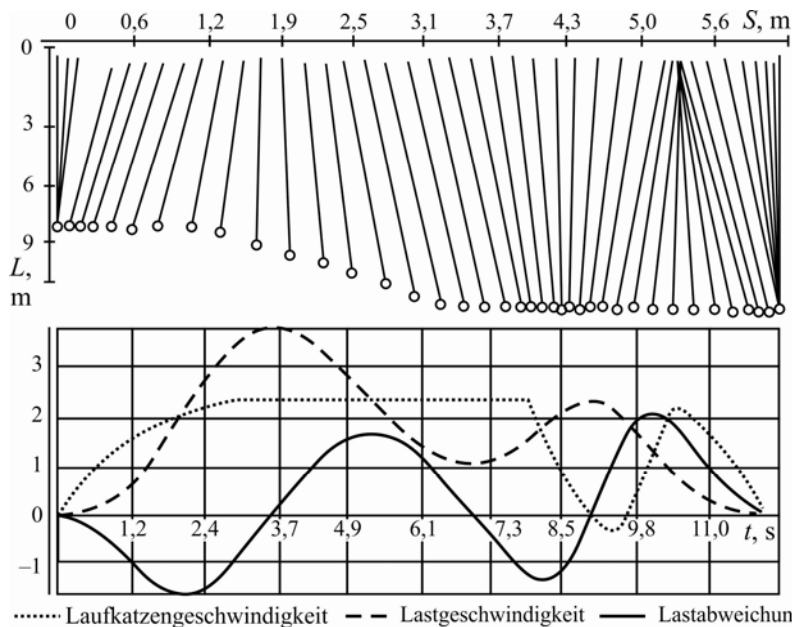


Abb. 5.7. Optimalsteuerungsschaubild ohne Seilabweichungswinkelbegrenzung und bei variable Seillänge

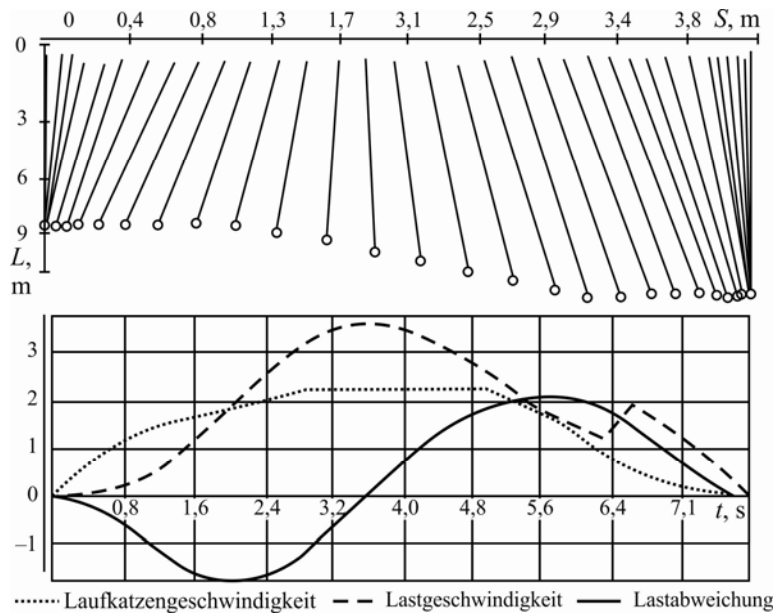


Abb. 5.8. Steuerungsschaubild ohne Seilabweichungswinkelbegrenzung und bei variable Seillänge

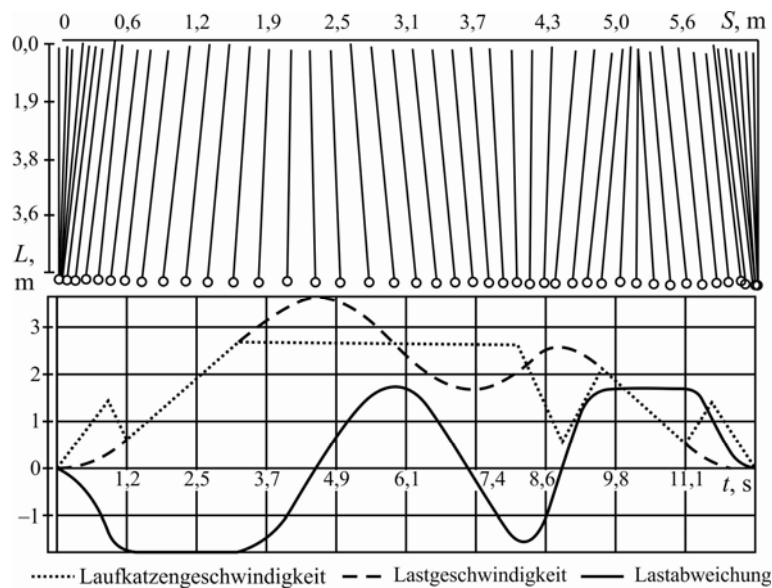


Abb. 5.9. Optimalsteuerungsschaubild bei Seilabweichungswinkelbegrenzung und bei Konstante Seillänge

Y_4 – Geschwindigkeit des Lastes (des Greifers), m/s;

$DELTA$ – Abweichung des Lastes (des Greifers) von der Vertikale, m;

$UGOL$ – Seilneigungswinkel, rad;

$KSI1$, $KSI2$ – Phasenkoordinaten;

F – die bewegende (Bremsen) Kraft, N.

Unten sind die Optimalsteuerungskurven, die mit Hilfe des Programmpakets berechnet sind, angeführt. Ausgangsdaten: $P1 = 3610$ kg, $P2 = 2650$ kg, $FR = 2400$ N, $FT = 1450$ N, $W = 570$ N. Auf der Abb. 5.7, 5.8 sind die Optimalsteuerungskurven ohne Begrenzung des Seilabweichungswinkels und bei der variablen Aufhängenlänge dargestellt, auf der Abb. 5.9 sind Steuerungskurven mit Begrenzung des Seilabweichungswinkels und bei der konstanten Aufhängenlänge dargestellt.

5.7.2. Робочі програми для мікропроцесорних засобів. Arbeitsprogrammen für Mikroprozessormitteln

Es wurden die Arbeitsprogrammen für den Kransteuerungsmikroprocessor auf der Basis der Optimalsteuerungsgesetze, die mit Hilfe des Programmpakets VAR berechnet wurden, erarbeitet und erprobt.

In der Beilage 1 wird der Text der Programmen der Verschiebung der Kranmechanismen angegeben. Das Programm wurde in der Makroassembler-Sprache für das Operationssystem CP/M geschrieben. Als Ergebniss wurde ein Ladungsmodul im hexadezimalen Format für den Mikroprozessor auf der Basis der 580-Reihe, der in allen Variante der Mikroprozessormitteln ausgenutzt wurde, bekommen. Die Fehlerbeseitigung im Programm wurde auf dem Modell des Brückengreiferkranes auf dem "Forder- und Hebemaschinen und Einrichtung"-Lehrstuhl der Charkover polytechnischen Universität (ChPU), sowie auf dem einstützigen Drehkran mit Tragfähigkeit 5 t und auf dem Flaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t (ChPU) durchgeführt. Die Übertagung des Programms auf dem realen Brückengreiferkran wird mittels Konstantenänderung (Änderung der Kranparametern) durchgeführt.

5.8. Дослідна система. Результати випробувань.

Das Experimentalmuster des Systems. Die Prüfungsergebnisse

5.8.1. Стислий опис апаратів мікропроцесорних засобів. Kurzbeschreibung der Apparatur der Mikroprozessormitteln

Es wurde ein Experimentalmuster des Kranoptimalsteuerungssystems geschafft und geprüft. Es gibt zwei Ausführungen des Systems: auf der Basis des programmierbaren mikroprozeccorischen Steuerschalter MKP-1-48-2 und auf der Basis des aggregatierbaren Systems "Potok-2U". Wir empfehlen für die Brückengreiferkräne die erste Ausführung wegen ihren

relativen Einfachheit und niedrigen Kosten. Die Basisbaugruppe bei dieser Ausführung stellt eine kombinierte Kransteuerungsschalttafel mit dem eingebauten Mikroprozessor.

Um die Engangs- und Ausgangskreise des MKP-1 mit dem elektrischen Kranschema und mit den Lagegeber der Mechanismen anzupassen, wurde ein Zwischenrelaisschrank erarbeitet und hergestellt.

Das Gebersystem dieser Ausführung wurde auf der Basis der Wegeschaltern Typ WP-15 geschaffen. Als zusätzliche Stromquelle für die Zwischenrelaisspulen wird ein serienmäßig hergestellte stabilisierte Stromquelle 27 V, 1 A, Typ 591-94 ausgenutzt.

5.8.2. Тиристорний привод для мікропроцесорних засобів. Thyristor Antrieb für die Mikroprozessormittel

Um die Experimente mit Mikroprozessorsteuerung der Kranmechanismen mit Gleichstromthyristor Antrieb durchzuführen, wurde Steuerungsschrank für den Kranverschiebungsmechanismus hergestellt. Im Schrank wurde ein kompletter Elektroantrieb Typ ET-6 aufmontiert, der im Abschnitt 5.6 beschreibt wurde (Abb. 5.10).

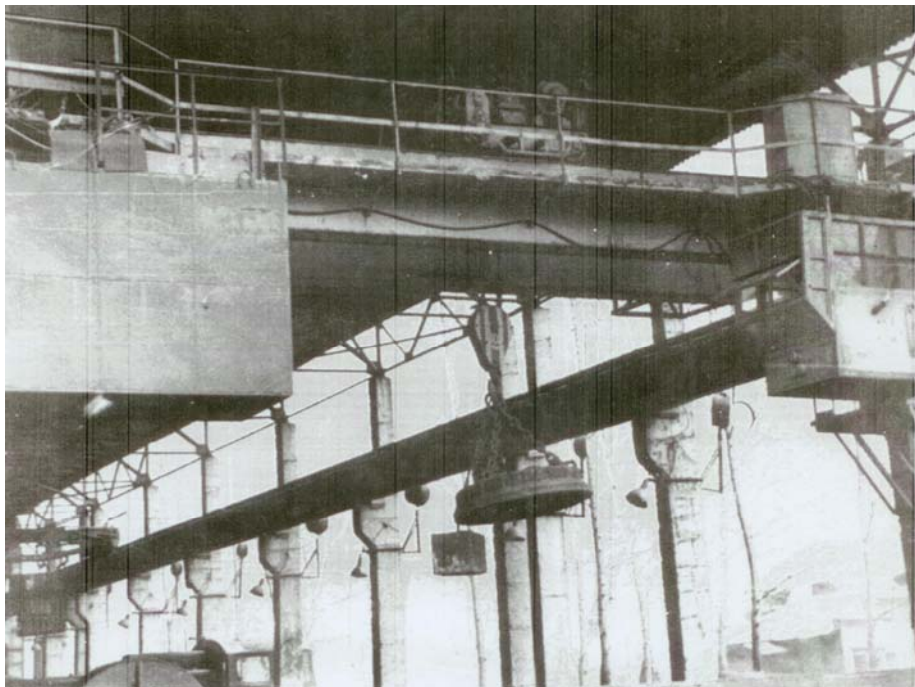


Abb. 5.10. Brückenkran mit der Ladekapazität 10 T mit dem abgetrennten Thyristor Antrieb der Fahrvorrichtung von Kran. Kharkiver Werk für Hebe- und Fördertechnik, 1971

5.8.3. *Опис экспериментального стенда. Beschreibung des Experimentalstandes*

Um die errechnete Kransteuerungsgesetze experimentell zu prüfen, sowie um die Arbeitsfähigkeit des Systems und seinen Baugruppen, wurde Laboratorstand auf der Basis des serienmäßig hergestellten Elektroflaschenzuges mit Tragfähigkeit 0,5 t geschaffen. Technische Daten des Standes:

Schienenlänge – 15 m;

Förderhöhe – 3 m;

Elektromotor des Verschiebungsmechanismus – 4AA50B4,

Leistung – 0,09 kW;

Übersetzungsverhältnis des Verschiebungsgetriebe – 18,5;

Verschiebungsgeschwindigkeit – 0,33 m/s;

Elektromotor des Fördermechanismus – AOC-32/6,

Leistung – 0,6 kW;

Übersetzungsverhältnis des Fördergetriebe – 28,3;

Fördergeschwindigkeit – 0,1333 m/s;

Flaschenzugsmasse – 75 kg.

Um die tatsächliche Verschiebungsgeschwindigkeit des Flaschenzuges zu kontrollieren, und um die Optimalsteuerungsalgorithmen bei der variablen Lastaufhängenlänge durchzuarbeiten, wurden zusätzlich die Impulsgeber Typ *PDF-3* auf den Verschiebungs- und Fördermechanismen eingestellt. Um den Flaschenzugweg zu kontrollieren und um die Optimalsteuerung die Schienen entlang durchzuführen, wurden die Schienen entlang die Wegegeber Typ *WP-15* eingestellt, die die Arbeit der Rückkopplungsgeber nach der Kranlage modellieren.

Die Bestimmung der Parametern des Versuchsstandes wird unten beschrieben. Die Massen des Flaschenzuges und des Lastes (M_1 , M_2) wurden durch das Wägen ermittelt. Die tatsächliche Geschwindigkeit der Flaschenzugsverschiebung (V) wurde mit Hilfe der Stoppuhr und des Bandmaßes ermittelt. Die Größe der bewegenden Kraft (F) wurde nach untenange-führte Abhängigkeit errechnet:

$$F_C = \frac{M_1 V}{t_c},$$

wo t_c – Beschleunigungszeit – wurde experimentell, mit Hilfe der Oszillografie des Signal des Verschiebungsgeschwindigkeitgebers. Die Bremskraft des Flaschenzuges ist gleich Null. Das Bremsen geschieht wegen der Bewegungswiderstandkraft, die kann man nach dem freien Auslauf S_A zu ermitteln:

$$W = \frac{M_1 V^2}{2S_A}.$$

Die (tatsächliche) Lastseillänge wurde zwischen dem Knickpunkt des Seiles und dem Massenmittelpunkt des Lastes durch die Periode der freien Schwingungen T ermittelt:

$$L = (T / 2\pi)^2 g.$$

Nach den tatsächlichen Parametern des Standes wurden Optimalsteuerungsgesetze für den Verschiebungsmechanismus des Flaschenzuges bei verschiedenen Verschiebungen errechnet und, als Steuerungstabellen, in den energieunabhängige Speicher des MKP-1-48 eingeschrieben. Die Kurven der errechneten Optimalgesetze für den Flaschenzug wurden in der Beilage 2 angegeben (Abb. 5.11, 5.12).

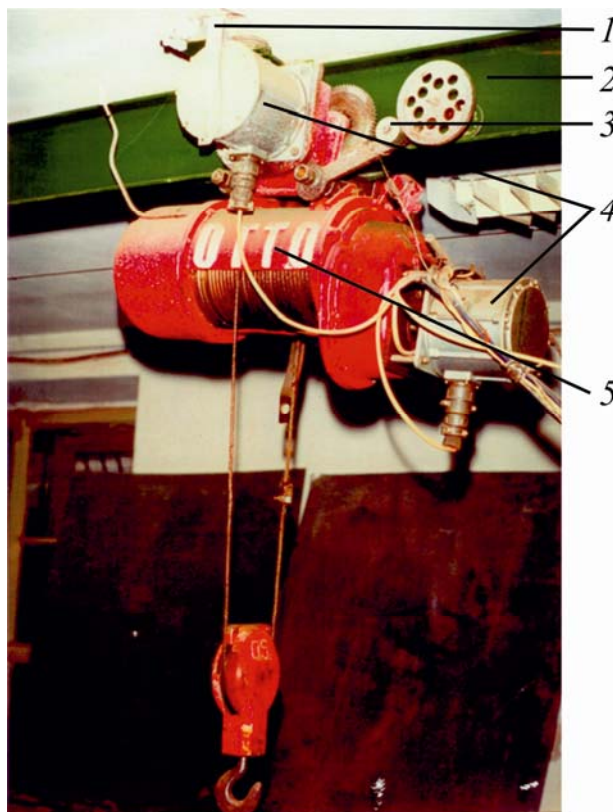


Abb. 5.11. System der optimalen Mikroprozessorsteuerung von der Elektrolaufkatze mit der Ladekapazität 0,5 t:
 1 – ein Streckenmessgerät; 2 – ein Einschienengleis;
 3 – ein Drehzahldynamo; 4 – ein Drehimpulsgeber;
 5 – ein Elektroflaschenzug



Abb.5.12. Modell vom Kabelkran, das im Lehrstuhl "Hebe- und Fördertechnik" im Jahre 1992 entwickelt wurde

5.8.4. *Результати випробувань мікропроцесорних засобів. Die Prüfungsergebnisse der Mikroprozessormitteln*

Die Prüfungen der obenbeschriebenen Ausführung der Mikroprozessormitteln auf dem Versuchsstand mit dem Elektroflaschenzug wurden solche Ergebnisse gebracht:

- tatsächliche Genauigkeit der mikroprozessorgesteuerten Flaschenzugspositionierung (im Vergleich mit berechneten Wert)
- ± 50 mm;
- Lastrestschwingungen im Stoppunkt – ≤ 45 mm;
- Anzahl der Einschaltungen, um die obengenannte Genauigkeit zu erreichen, ist dreifach niedriger, als bei der Handsteuerung;
- Leistungsfähigkeiterhöhung bei der kleinen Länge – 70 %, bei der großen Länge – bis zu 40 %.

Die Prüfungen der Mikroprozessormitteln auf dem realen Brückengreiferkran mit Tragfähigkeit 5 t, der in der Keramzitbetriebsabteilung des Hausbaukombinat-1 (Charkow, Ukraine) arbeitet, bestätigten die Ergebnisse, die auf dem Versuchsstand bekommen wurden. Daraus folgt, dass die Einrichtung der Brückengreiferkräne mit dem Mikroprozessorsystem der optimalen Steuerung erlaubt eine wesentliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit und die Verlängerung der Lebensdauer wegen der Senkung der Mechanismeneinschaltungszahl. Dabei die Kosten der einfachsten Variante des Systems nicht 3000 Rubel überschreiten (in den Preisen 1991) (Abb. 5.13, 5.14, 5.15).

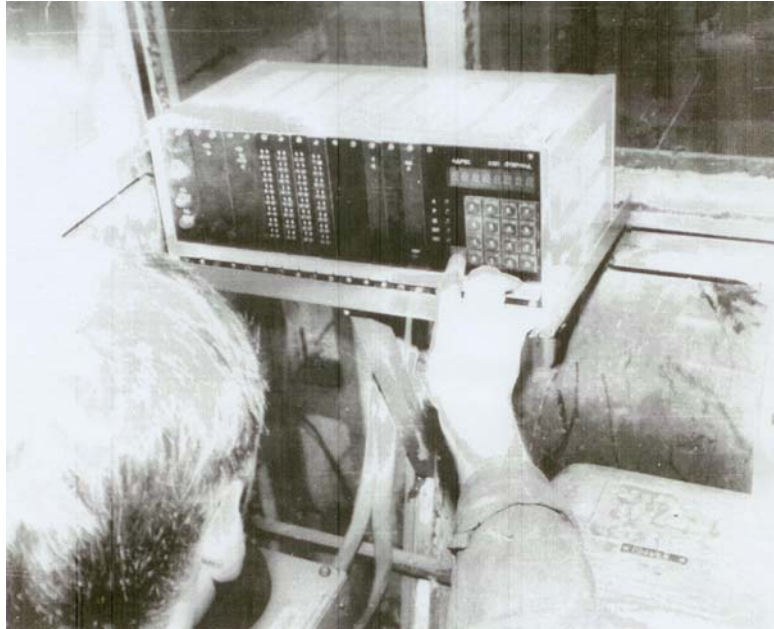


Abb. 5.13. Steuerblock für den Kranfahrer während der Aufgabe des Steuerprogramms vom Mikroprozessorsystem der Steuerung vom Kran für DSK-1 (Charkow), 1987

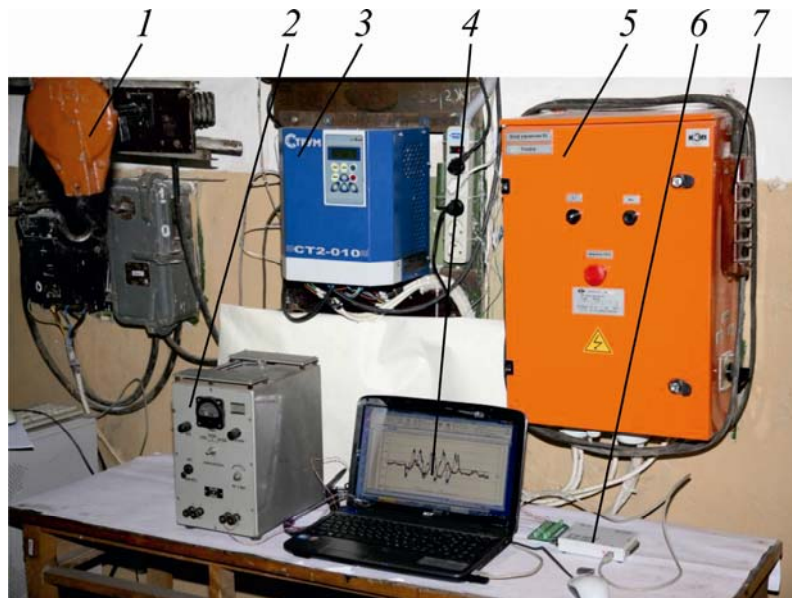


Abb. 5.14. Das Steuerung- und Datensammlungssystem des Elektroflaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t:
 1 – der Haupthebelschalter; 2 – das Stromversorgungsgerät;
 3 – der Frequenzumrichter; 4 – der Personalcomputer;
 5 – der Kontaktschrank; 6 – der Analog-Digitalumsetzer;
 7 – manueller Bedienungspult



Abb. 5.15. Der Elektroflaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t und des Steuerungssystem:

- 1 – der Elektroflaschenzug; 2 – das Steuergerät des Drehimpulsgeber;
3 – das Steuerung- und Datensammlungssystem



Abb. 5.16. Der Säulendrehkran mit Tragfähigkeit 0,5 t, die Hubhöhe der Last – 10 m, die Kranausladung – 8,5 m:

- 1 – der Stahlbau; 2 – die Abhubeinrichtung;
3 – die Säule; 4 – die Drehvorrichtung; 5 – das Gegengewicht

Die Kontrollfragen 5

1. Zählen Sie bitte die Aufgaben und Arbeitsarten, die durch das Versuchsmodell des Mikroprozessorsystems vom Steuerungskran vollgebracht werden.
2. Auf welche Grundlage der technischen Mittel wurde das experimentelle Mikroprozessorsystem des Steuerungskrans ausgeführt?
3. Nennen Sie bitte die Verwendung der Elementen vom Blockdiagramm des experimentellen Mikroprozessorsystems Steuerungskrans.
4. Für welche Datensammlung verwenden die Gebermessgerät des Mikroprozessorsystems?
5. Auf welcher weise werden die folgenden Daten für die Berechnung der Gesetze der Optimalregelung (bewegende Kraft, statischer Widerstand, Länge der Lastaufhängung) berechnet?

6. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ВИГОТОВЛЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ГРЕЙФЕРНО-БУНКЕРНОГО КРАНА. TECHNISCHE FORDERUNGEN ZUR SCHAFFUNG DES MIKROPROZESSORISCHEN OPTIMALSTEUERUNGSSYSTEM FÜR DEN GREIFER-BRÜCKEN-KRAN

6.1. Призначення і галузь застосування.

Bedeutung und Anwendungsgebiet

Das mikroprozessorische Kranoptimalsteuerungssystem ist für die Steuerung die Hauptmechanismen des Brückenkrans vorbestimmt, um seine Leistungsfähigkeit zu vergrößern. Die Leistungsfähigkeit kann man steigern mittels Zeitökonomie während des genauen Laststillstandes im vorgegebenen Punkt, sowie durch den automatisierten Betrieb des Krans.

Das System kann man auf den Greifer-Brücken-Kräne mit dem flexiblen Lastaufhängen anwenden, wo den technologischen Forderungen nach der genaue Last- oder Greiferstillstand im vorgegebenen Punkt ohne Schwingungen nötig ist.

Das System lät die Anwendung von verschiedenen Gleichstromoder Wechselstromantriebe mit oder ohne Umformer zu.

Die Entwicklung und Anwendung des System verbessert die technische und funktionale Möglichkeitender Kransteuerung bis zum Niveau der besten Weltvorbilde solchen Systeme.

Das Ansetzen des Systems, die Steueralgorithmusänderung durchführt man stufenweise ohne die Haupteinrichtung zu wechseln, auf der Basis des Einsatzes der zusätzlichen Mittel und Programm-unterstützung.

6.2. Мета і призначення розробки.

Ziel und Bestimmung der Ausarbeitung

Ziel der Arbeit besteht in der Entwicklung des Systems, das den allen Forderungen der besten Weltstandarde entspricht, die Steigerung der Kranleistungsfähigkeit um 10–30 % gewährleistet und die Arbeitsbedingungen des Kranfahrers verbessert.

Die Entwicklung des Systems kann man in solche Stufen aufteilen:

- die Ausarbeitung der Struktur der technischen Mittel;
- das Schaffen der Programmunterstützung;
- die Ausarbeitung der Betriebsunterlagen.

Technische Mittel und die Programmunterstützung sind vorbestimmt für:

- die Steuerung den Elektroantrieb der Laufkatze;
- die Steuerung den Elektroantrieb des Lastaufhebens;
- die Steuerung den Elektroantrieb des Greiferschließens;
- die Eingabe von der Seite der Bedienungsperson der Anfangsbedingungen auf dem Pult.

Die Anfangsbedingungen:

- Anfangspunkt und Endpunkt der Verschiebung. Die Eingabe erfolgt in Form der Befehle von dem Bedienungspersonspult.
- Der Schritt auf der Axe X, entlang der bewegt sich der Punkt der Materialaufnahme – die Eingabe erfolgt von dem Pult in Metern. Die mögliche Eingabegenauigkeit – 0,01 m.
- Der Schritt auf der Axe Y.
- Der höchste Punkt der Lage des Materials.
- Die Anzeige in Symbolform der von dem Pult eingegebenen Information.

6.3. Технічні вимоги до апаратури системи. Technische Forderungen an die Systemapparatur

Die leitende EDV des Kransystemskomplexes soll solche technische Daten haben.

Elementenbasis des mikroprozessorischen Systems – integrale Mikroschaltungen – Serien K580, K589, K573, K556, K155, K134, K564.

Es ist zulässig die Mikroschaltungen anderen Serien, optoelektronische Elemente, Diskretkomponente (Transistoren, Dioden, Thyristoren, Simistoren, Resistoren, Kondensatoren usw.) zu verwenden, die mit TTL kompatibel sind.

Die Kopplung mit den 8-stelligen Gebern ВПБ-14 – die Bestimmung der Brückenlage. Für das Anschließen eines Gebers ist folgendes nötig:

- die Speisung +24 V;
- Informationssignal – 1 Leitung.

Die Kopplung mit den 4-stelligen Gebern ВПБ-14 -die Bestimmung der Laufkatzenlage.

Die Kopplung mit den 10-stelligen Gebern ВПБ-18 – die Bestimmung des Greiferzustandes.

Die Kopplung mit den 2 Impulsgebern und 1 gepaarten Positionsgeber ВПБ-18 – die Bestimmung der Höhe des Greiferhebens.

Digital-Analog-Umsetzern +15 V für die Thyristorantriebsteuerung.

Für die Verbindung der mikro-EDV mit dem Relaissteuerungssystem ist 5 parallele Eingänge +24 V, 0,5 A vorzusehen.

Die Forderungen an die Zuverlässigkeit:

Der Komplex stellt sich ein widerherstellbares multifunktionales Erzeugnis dar.

Die Wahrscheinlichkeit der störungsfreie Arbeit des Komplexes binnen 1000 Stunden – nicht weniger als 0,8.

Das voraussichtliche Verteilungsgesetz der störungsfreie Arbeit des Komplexes – exponential.

Der Störungsfreiheitsindex soll dem Standard ГOCT 13216-74 entsprechen.

Die durchschnittliche Zeit der Wiederherstellung des Komplexes – nicht größer als 2 Stunden.

Das voraussichtliche Gesetz der Wiederherstellungszeit des Komplexes – exponential.

98 % Haltbarkeitsdauer des Komplexes soll nicht weniger als 10 Jahre sein.

Die durchschnittliche Lebensdauer des Komplexes soll nicht weniger als 10 Jahre sein.

Die Forderungen bzgl. die Radiostörungseinwirkung sollen dem Standard ГOCT 12997-76 entsprechen.

Die elektrische und magnetische Außenfelder mit der Intensität bis zu 400 A/m sollen keine Wirkung auf die Komplexfunktionierung haben.

Der Komplex soll eine Vibrationsbeständigkeit gegen die Frequenzen bis zu 200 Hz und die Amplituden bis zu 10 mm haben.

Sicherheitsforderungen:

Alle Funktionalelemente des Komplexes, die unter Spannung größer als 36 V stehen, sollen einen Schutz gegen zufällige Berühren haben.

Es ist einen freien Zugang zu den Komplexelementen zu gewährleisten.

Die Einrichtungen des Komplexes sollen eine Signalisation haben, die Kraftstromspeisung anzeigt.

Alle Erzeugnisse sollen die Anschlüsseinrichtungen für die Schutzerdung haben.

6.4. Програмне забезпечення системи керування краном.

Programmunterstützung des Kransteuerungssystems

Die Programmunterstützung soll die Realisierung der vorgegebenen Funktionen gewährleisten. Die Programmunterstützung besteht aus folgenden Unterprogrammen.

Der Leitprogrammenkomplex:

- die Prozeduren der Handeingabe der Information für die Bedienungsperson;
- die Prozeduren der automatischen Eingabe und Bearbeitung der Geberanzeigen;
- die Funktionierenkontrollprozeduren mit der Ausgabe der diagnostischen Mitteilungen;
- die Prozedure der Bestimmung der vorgegebenen Verschiebung und Länge;
- die Prozedure der Berechnung des Profils des Hebens und des Schließens;

- die Prozeduren des Schöpfens und des Schließens;
- die Prozeduren des Öffens und des Ausschüttens;
- die Prozedur der Grafikberechnung der Laufkatzenbewegung;
- die Prozedur der Ausgabe der Steuerungseinwirkung an die Elektroantriebe des Krans.

Zu den Serviceprogrammkomplex gehören:

- Dialogprozedur, die in sich die Möglichkeiten der Auskunftserhaltung über das Systemfunktionieren, über die Systemmöglichkeiten, über die reservierten Systemoperatoren einschließt.
- Die Prozedur des Informationsaustausches mit der Haupt-EDV (in Perspektive);
- Der Programmkomplex für die Einrichtungsdiagnostik.

Die Kontrollfragen 6

1. Nennen Sie bitte den Anwendungsbereich des Mikroprozessorsystems der Optimalregelung.
2. Nennen Sie bitte die Ziele und Aufgaben des erarbeitenden Systems der Optimalregelung.
3. Welche technische Förderungen werden zu den Teilen des Steuerungssystems geltend gemacht?
4. Zählen Sie bitte die staatliche Standardnorm, Normen für Steuerungssystem.
5. Nennen Sie bitte die Grundprozeduren, die Software vom Steuerungssystem des Krans unterstützen.

LITERATURS

1. Эксплуатационные режимы работы механизмов порталных и плавучих кранов. Механизация и оборудование портов / М. С. Петров. – Л., 1968. – С. 46–55.
2. Динамика механизмов и машин / М. С. Комаров. М. : Машиностроение, 1969. – 206 с.
3. Динамика мостовых кранов / С. А. Казак. – М. : Машиностроение, 1968. – 331 с.
4. Грузоподъемные машины. Передвижение кранов / Б. С. Ковальский. – Х. : ХВКИУ, 1963. – 167 с.
5. Краткие итоги изучения работы передовых крановщиков порталных кранов / В. Ф. Сиротский // Морской и речной флот. – 1953. – № 8. – С. 4–7.
6. Экспериментальное исследование углов отклонения грузовых канатов от вертикали / В. Ф. Сиротский // Труды Ленинградского института инженеров водного транспорта. – Л., 1955. – Вып. 22. – С. 67–73.
7. Продолжительность циклов порталных кранов / В. Ф. Сиротский, П. П. Артемьев // Портовые краны. – Л., 1960. – С. 3–7.
8. Моделирование системы ограничения раскачивания груза при работе механизма передвижения крановой тележки / А. Л. Алейнер, А. И. Орлов // Подъемно-транспортные машины. – Тула, 1975. – Вып. 4. – С. 17–23.
9. Анализ движения груза на гибком подвесе / А. Л. Алейнер, А. Н. Орлов // Тр. ЛПИ. – Л., 1975. – № 347. – С. 107–112.
10. Синтез оптимальной системы подавления раскачивания груза / Л. Б. Аксенов, Г. И. Гниломедов, А. Н. Орлов // Механизация и оборудование портов. – Л., 1976. – С. 25–31.
11. Исследование подвеса груза с устройством для демпфирования колебаний / А. Н. Орлов // Вестник машиностроения. – 1980. – № 10. – С. 37–39.
12. Синтез системы для гашения колебаний груза / Л. Б. Аксенов // Подъемно-транспортные машины. – Тула, 1981. – С. 66–69.
13. Пути увеличения производительности высокоскоростных перегрузочных кранов / А. Н. Орлов // Промышленный транспорт. – 1988. – № 4. – С. 33–35.
14. О некоторых методах определения оптимального закона движения, рассматриваемого как управляющее воздействие / Я. Л. Геронимус, М. М. Перельмутер // Машиноведение. – 1966. – № 6. – С. 16–24.
15. Некоторые особенности расчета управления электроприводом крановой тележки / М. М. Перельмутер // Электричество. – 1967. – № 1. – С. 52–55.
16. Оптимальные законы движения механизмов с упругим звеном / М. М. Перельмутер // Машиноведение. – 1968. – № 5. – С. 17–22.

17. Устранение колебаний груза, подвешенного к крановой тележке, воздействием на его электропривод / М. М. Перельмутер, Л. Н. Поляков // Известие ВУЗов. Электромеханика, 1971. – № 7. – С. 769–774.
18. Учет колебаний груза при синтезе ЭП поворотного механизма крана / М. М. Перельмутер, Л. Н. Поляков // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 1982. – № 3. – С.304–308.
19. Математическая модель режима работы крановых установок / Н. И. Ерофеев // Автоматика и телемеханика. – 1967. – № 3. – С. 160–166.
20. Исследование рабочего цикла автоматизированного порталного крана на ЭВМ / Н. И. Ерофеев // Механизация и автоматизация производства. – 1969. – № 3. – С. 42–46.
21. Автоматика и автоматизация портовых перегрузочных процессов / Н. И. Ерофеев, Л. А. Орлов. – М. : Транспорт, 1973. – 269 с.
22. Метод решения оптимальной задачи для крановых установок / Н. И. Ерофеев, П. М. Стрельцов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1974. – № 6. – С. 135–140.
23. Оптимальное управление подъемно-транспортными механизмами / А. А. Смехов, Н. И. Ерофеев. – М.; Машиностроение, 1975. – 239 с.
24. Оптимальное управление поворотными кранами / Н. Ф. Зубко, П. М. Стрельцов // Сооружения и механизмы морских портов. – М. : В/О "Мортехнинформреклама", 1983. – С. 128–132.
25. Оптимальное по быстродействию управление механизмами порталного крана / Н. Ф. Зубко, П. М. Стрельцов // Гидротехн. сооруж. морск.портов и их механизация. – М. : В/О "Мортехнинформреклама", 1983. – С. 90–92.
26. Управление колебаниями / Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Б. Н. Соколов. – М. : Наука, 1980. – 384 с.
27. Оптимальное перемещение маятника / Ф. Л. Черноусько // Прикладная математика и механика. – 1975. – Т. 39. – Вып. 5. – С. 30–33.
28. Асимптотическое решение некоторых задач типа оптимального быстрогодействия / Л. Д. Акуленко // Прикладная математика и механика. –1975. – Т. 39. – Вып. 4. – С. 590–603.
29. Определение оптимальных и квазиоптимальных управлений в одной колебательной механической системе / Н. В. Баничук, Ф. Л. Черноусько // Изв. АН СССР. МТМ. –1975. – № 2. – С. 3–9.
30. Оптимальное управление движением системы "типа маятника" перемещением точки подвеса / Л. Д. Акуленко, Ю. Р. Рошин // Изв. АН СССР. МТТ. – 1976. – № 1. – С. 14–20.
31. Об оптимальном перещении висящего груза / Б. Н. Соколов, Ф. Л. Черноусько // Изв. АН СССР. МТТ. – 1976. – № 4. – С. 26–33.

32. Оптимальный разгон маятника / Б. Н. Соколов, Ф. Л. Черноусько // Изв. АН СССР. МТТ. – 1977. – № 2. – С. 18–23.
33. Управление перемещением груза в вертикальной плоскости / В. М. Мамалыга, Ф. Л. Черноусько // Изв. АН СССР. МТТ. – 1977. – № 4. – С. 93–101.
34. Оптимальный разгон висячего груза при ограниченной скорости и ускорении точки подвеса / Б. Н. Соколов // Изв. АН СССР. МТТ. – 1977. – № 6. – С. 38–43.
35. Об оптимальном управлении одной колебательной системой / В. М. Мамалыга // Изв. АН СССР. МТТ. – 1978. – № 3. – С. 8–17.
36. Управление движением нелинейной колебательной системы смещением положения равновесия / Л. Д. Акуленко // Изв. АН СССР. МТТ. – 1978. – № 4. – С. 3–12.
37. Об одной задаче оптимального разгона маятника при ограниченной скорости и интегральном критерии качества / А. Т. Заремба, Б. Н. Соколов // Изв. АН СССР. МТТ. – 1978. – № 4. – С. 30–33.
38. Об оптимальном сочетании ускорения и торможения точки подвеса при разгоне висячего груза / А. Т. Заремба, Б. Н. Соколов // Изв. АН СССР. МТТ. – 1979. – № 2. – С. 18–23.
39. Построение синтеза оптимального по быстродействию управления колебательной системой / В. М. Мамалыга // Изв. АН СССР. МТТ. – 1979. – № 3. – С. 37–45.
40. О минимуме тепловых потерь в электродвигателе при разгоне висячего груза / А. Т. Заремба, Б. Н. Соколов // Изв. АН СССР. Машиноведение. – 1979. – № 5. – С. 36–41.
41. Синтез управления маятником / А. Т. Заремба // Изв. АН СССР. МТТ. – 1981. – № 1. – С. 60–68.
42. Синтез управления маятником переменной длины / Л. Д. Акуленко, А. Т. Заремба // Изв. АН СССР. МТТ. – 1981. – № 2. – С. 147–156.
43. Оптимальное перемещение маятника при фазовом ограничении на скорость точки подвеса / А. Т. Заремба // Изв. АН СССР. МТТ. – 1982. – № 3. – С. 17–20.
44. Оптимальное перемещение груза на гибком подвесе / В. А. Жилин, Л. И. Кибрик, И. Д. Колодный // Приборостроение. – Пермь, 1976. – С. 60–68.
45. К вопросу об оптимальном по быстродействию управлении системой третьего порядка, содержащей консервативное звено / В. А. Жилин, Л. И. Кибрик // Автоматизированные системы и средства управления. – Пермь, 1976. – С. 81–85.
46. Гашение колебаний груза при торможении крановой тележки ступенчатым тормозным моментом / М. Н. Рунов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1970. – № 12. – С. 121–125.
47. Точность остановки груза при ступенчатом торможении крановой тележки / М. М. Рунов // Тр. МВТУ им. Баумана. – 1977. – № 255. – С. 25–30.

48. Оптимизация управления механизмами грузоподъемных кранов в переходных режимах / А. А. Зарецкий, Н. И. Портной // Вестник машиностроения. – 1969. – № 8. – С. 14–18.
49. Обоснование требований к приводу механизма поворота башенного крана / Н. И. Портной // Тр. ВНИСТРОЙДОРМАШ. – М., 1974. – № 63. – С. 55–63.
50. Точность остановки механизма поворота башенного крана / Н. И. Портной // Строительные и дорожные машины. – 1976. – № 1. – С. 22–24.
51. А. с. 1047102 СССР, МКИ В66С13/06. Способ управления механизмом передвижения подвешенного на канате груза / Л. Б. Масандилов (СССР). – Оpubл. 30.03.1985.
52. А. с. 982301 СССР, МКИ В66С13/06. Способ демпфирования колебаний подвешенного на гибкой связи грузозахватного органа подъемно-транспортного средства / Л. Б. Масандилов, Ю. И. Фесенко (СССР).
53. А. с. 965957 СССР, МКИ В66С13/06. Способ успокоения колебаний подвешенного на гибком канате грузозахватного органа механизма горизонтального передвижения подъемно-транспортного средства (его варианты) / Л. Б. Масандилов, А. П. Богословский, В. С. Баранов, Ю. В. Рожновский, А. Г. Пискунов (СССР).
54. Улучшение динамических режимов в автоматически управляемой крановой системе с гибким подвесом груза / М. И. Хрисанов, А. К. Афанасьев; Киевский автодорожный ин-т. – К., 1986. – 11 с.
55. Аналитические методы исследования эффективности работы систем гашения колебаний груза / Л. Д. Крук // Гидротехн. сооруж. мор. портов и их механизация. – М. : В/О "Мортехинформреклама", 1983. – С. 95 – 97.
56. Эффективность работы систем гашения колебаний груза у перегружателей контейнеров / Л. Д. Крук // Сооруж. мор. портов и их механизация. – М. : В/О "Мортехинформреклама", 1983. – С. 132 – 137.
57. К использованию микропроцессора для управления крановым приводом / Б. Е. Тарасюк // Сооруж. мор. портов и их механизация. – М. : В/О "Мортехинформреклама", 1985. – С. 96–99.
58. Микропроцессор на кране: учебн. пособие / Б. Е. Тарасюк, В. Г. Плаксин. – М. : В/О "Мортехинформреклама", 1986. – 28 с.
59. Влияние систем гашения колебаний груза на производительность кран / В. Н. Кустовой // Экон. орг. и упр. на мор. транспорт. – М. : – 1985. – С. 125–127.
60. Относно възможността за погасяване на разлюляването на товара при неустано венодвижение на мостов кран / П. Ексаров, Б. Григоров // Машиностроение. – 1981. – № 3. – С. 114–117.
61. Пат. 3513007 ФРГ, МКИВ 66С13/06. Способ и устройство автоматического управления краном.

62. Уменьшение колебаний груза при автоматизированном режиме кранов перегружателей / В. П. Мисюра, И. Н. Васильченко // Механизация и автоматизация производства. – 1985. – № 11. – С. 22–24.
63. Современные крановые приводы / З. Е. Шафиров // Подъемно-транспортное оборудование. – М. : ЦНИИТЭИТяжмаш, 1983 – Вып. 6. – 40с.
64. Программное управление ПТМ с использованием микропроцессорных средств / В. И. Соседов // Системы приводов. Надежность и долговечность ПТО. – 1987 – С. 24–32.
65. Автоматизация перегрузочного процесса / Е. Г. Герасимов, Е. П. Осинцев // Речной транспорт. – 1985 – № 11. – С. 35.
66. Комплексная механизация погрузочно-разгрузочных работ / В. А. Абгафоров // Новое в жизни науки и техники. Транспорт. – М. : Знание, 1984. – № 1. – С.14–18.
67. Автоматизированные краны мостового типа в СССР и за рубежом. Обзор / Ф. Э. Микушевич, И. Н. Моисеев, В. И. Соседов. – М. : ЦНИИТЭИТяжмаш, 1987. – 40 с.
68. Автоматизация управления подъемно-транспортными машинами с использованием микропроцессорных средств. Обзор / В. И. Соседов. – М. : ЦНИИТЭИТяжмаш, 1985. – 36 с.
69. Грузоподъемные краны для гибких автоматизированных производств. Обзор / И. И. Абрамович. – М.: ЦНИИТЭИТяжмаш, 1988. – 36 с.
70. Математические основы теории управляемых систем / Л. С. Гноенский, Г. А. Каменский, Л. Э. Эльсгольц. – М. : Наука, 1969. – 512 с.
71. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М. : Наука, 1976. – 392 с.
72. Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1969. – 408 с.
73. Оптимизация автоматических систем управления по быстродействию / А. С. Клюев, А. А. Колесников. – М. : Энергоиздат, 1982. – 240 с.
74. Справочник для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1986. – 544 с.
75. Синтез оптимальных по быстродействию законов управления движением грузовой тележки крана мостового типа / О. В. Григоров, В. П. Свиргун // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – № 11. – С. 98–102.
76. Оптимальное по быстродействию управление механизмами крана / В. П. Свиргун // Новое в подъемно-транспортной технике: Тез. Всесоюзн. научн.-техн. конф., посвященной 60-летию кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э.Баумана. – М. : МВТУ, 1985. – С. 64.

77. Переходные процессы в механизме передвижения мостового крана с гидро-объемным приводом / О. В. Григоров, П. А. Коваленко, В. А. Коваленко // Известия вузов. Машиностроение. – 1980. – № 6. – С. 87–90.

78. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / М. М. Гохберг. – М. : Машиностроение, 1976. – 456 с.

INHALT

Передмова	3
Vorwort	4
Einführung	5
1. Сучасний стан у галузі керування кранами. Zum modernen Stand von Kransteuerungen	11
1.1. Аналітичний огляд видів керування. Analytischer Überblick von Steuerungsarten	11
1.2. Огляд систем автоматичного керування кранами на основі мікропроцесорної техніки. Übersicht von Systemen der automatischen Steuerung der Krane auf der Grundlage der Mikroprozessortechnik	17
Die Kontrollfragen 1	27
2. Розробка оптимальних за швидкістю законів керування для мостових кранів. Erarbeitung der Geschwindigkeits-optimalen Steuerungsgesetze für Brückenkräne	28
2.1. Вступ до оптимального керування кранами з гнучким підвісом вантажу. Einleitung in die optimale Kransteuerung mit flexiblem Lastaufhängen	28
2.1.1. Постановка задачі. Aufgabestellung	28
2.1.2. Короткий огляд законів керування. Kurzübersicht der Steuerungsgesetze	29
2.2. Вибір параметра керування і розрахункової схеми. Auswahl des Steuerparameters und des Berechnungsschemas	33
2.3. Дослідження типу закона оптимального керування за характеристиками швидкості візка з підвішеним вантажем. Метод фазової площини. Forschung der Art des optimalen Steuerungsgesetzes un der Bewegungscharakteristik der Laufkatze mit dem aufhängenden Last. Methode der Phasenebene	37
2.4. Оптимальний закон керування без урахування фазових обмежень (Задача 1). Optimales Steuerungsgesetz ohne Berücksichtigung der Phasenbegrenzungen (Aufgabe 1)	41
2.5. Оптимальний закон керування з урахуванням обмеження на швидкість візка (Задача 2). Optimales Steuerungsgesetz mit Berücksichtigung der Begrenzung der Laufkatzengeschwindigkeit (Aufgabe 2)	44
2.6. Оптимальний закон керування з урахуванням демпфірування коливань вантажу. Das Optimalsteuerungsgesetz mit Berücksichtigung des Abklingens von Lastschwingungen	47
2.7. Оптимізація керування розгойдування вантажу з обмеженням на відхилення вантажу від вертикалі. Die Steuerungsoptimierung des Lastaufschaukelns mit Begrenzung der Lastabweichung von der Vertikale	49
2.8. Квазіоптимальні закони керування. Quasioptimale Steuerungsgesetze	57

2.9.	Теоретичні дослідження оптимального керування візком при постійній довжині підвісу. Theoretische Untersuchungen der Laufkatzen-Optimalsteuerung bei der Konstanten Lastaufhängenlänge.	59
2.9.1.	Постановка задачі. Aufgabenstellung	59
2.9.2.	Визначення виду оптимального керування. Bestimmung der Optimalsteuerungsart.	61
2.9.3.	Розв'язання вихідної системи диференціальних рівнянь. Die Lösung des Ausgangssystem der Differentialgleichungen.	62
2.9.4.	Метод фазової площини. Die Methode der Phasenebene.	63
2.9.5.	Оптимізація руху крана (візка) з масою більшою за масу вантажу. Die Bewegungsoptimierung des Kranes (der Laufkatze) mit der Masse, die größer als die Lastmasse ist.	65
2.9.6.	Оптимізація руху крана (візка) з масою меншою за масу вантажу. Bewegungsoptimisation des Kranes (der Laufkatze) mit der Masse, die kleiner als die Lastmasse ist.	77
2.10.	Чисельні методи розрахунку законів оптимального керування та кривих перехідних процесів при різних видах керування. Numerische Berechnungsmethoden für die Optimalsteuerungsgesetze und die Übergangsvorgängerkurven bei den verschiedenen Steuerungsarten.	99
2.10.1.	Грейферно-бункерний перевантажувач вантажопідйомністю 800 т. Greifer-Bunker-Umlader mit der Leistungsfähigkeit 800 t/St.	99
2.10.2.	Грейферно-мостовий кран вантажопідйомністю 3,2 т. Greifer-Brückenkran mit Tragfähigkeit 3.2 t.	103
2.11.	Теоретичні дослідження оптимального керування механізму повороту баштового крана. Theoretische Untersuchungen der Optimalsteuerung des Drehmechanismus des Turmkranes.	105
2.12.	Точність зупинки основних механізмів крана. Genauigkeit der Stillsetzung von Grundkranvorrichtungen.	111
	Die Kontrollfragen 2.	119
3.	Мікропроцесорні системи підймальних машин. Mikroprozessorsystemen der Hebemaschinen.	121
3.1.	Керування за допомогою програмованого мікрокомп'ютера МКП-1-48-2. Steuerung mittels programmierbare Mikrosteuerschalter МКП-1-48-2.	121
3.1.1.	Керування електричною таллю вантажопідйомністю 0,5 т. Die Steuerung der Elektroflaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t.	122
3.1.2.	Керування портальним грейферним краном (вантажопідйомність 5 т). Die Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 5 t)	124
3.1.3.	Керування портальним грейферним краном (вантажопідйомність 3,2 т). Die Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 3,2 t)	129
3.1.4.	Керування тиристорним портальним грейферним краном (вантажопідйомність 3,2 т). Die thyristorgesteuerte Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 3,2 t)	131
3.1.5.	Керування баштовим краном (вантажопідйомність 5 т) з тиристорним електродвигуном. Steuerung den Turmdrehkran (Tragfähigkeit 5 t) mit Thyristor-Elektroantrieb.	132

3.1.6.	Оптимальне керування обертанням крана (вантажопідйомність 5 т) з гідродинамічним приводом механізму повороту. Optimale Drehsteuerung den einstützigen Kran (Tragfähigkeit 5 t) mit hydrodynamischem Drehmechanismus-Antrieb . .	134
3.1.7.	Керування краном з адаптивними елементами. Kransteuerung mit den Adaptations-Elementen	141
3.2.	Керування на базі КТС ЛІУС-2 "MikroDAT" і "Електроніка МС". Die Steuerung auf der Basis KTS LIUS-2 "MikroDAT" und "Elektronika MS"	143
3.2.1.	Керування електричною таллю вантажопідйомністю 0,5 т. Die Steuerung der Elektroflaschenzug mit Tragfähigkeit 0,5 t. . .	145
3.2.2.	Керування портальним грейферним краном (вантажопідйомність 16 т). Die Torgreiferkran-Steuerung (Tragfähigkeit 16 t)	147
3.2.3.	Апаратна конструкція мікропроцесорної системи керування для металургійного крана вантажопідйомністю 16 т. Die Apparaturen-Bauart des Mikroprocessor- Steuerungssystem für Hüttenkran mit Tragfähigkeit 16 t (Abb. 3.19)	149
3.2.4.	Керування грейферно-бункерним перевантажувачем. Die Steuerung den Greifer-Bunker-Umlader	153
3.2.5.	Керування стріловим краном з обмежувачем моменту навантаження. Steuerung eines Auslegerkrans mit einem Begrenzer des Beanspruchungsmomentes	155
3.2.6.	Керування краном на базі пристрою "Elektronika МС". Kransteuerung auf der Basis von Betriebsmitteln "Elektronika MS". .	157
3.3.	Системи керування, які забезпечують реалізацію оптимальних характеристик. Steuerungssysteme, die Realisierung Optimale Charakteristika gewährleisten	158
3.3.1.	Дотримання навантажень у трансмісіях і конструкціях. Einhaltung von Beanspruchungen an den Wellenleitungen und Konstruktionen	158
3.3.2.	Обмеження кута відхилення вантажного каната. Begrenzung des Abweichungswinkels des Lastseiles	163
3.3.3.	Запобігання кінематичного перекосу крана. Abwendung der kinematischen Kranschiefstellung	164
	Die Kontrollfragen 3	168
4.	Будова автоматизованих систем керування для складських кранів. Aufbau des automatisierten Steuerungssystems für Lagerplatzkräne	169
4.1.	Функції та види робіт системи керування. Funktionen und Betriebsarten der Steuerungssystemen	169
4.2.	Види робіт системи кранів для складу. Betriebsarten der Kransysteme auf dem Lager	183
4.3.	Функції мікропроцесорної системи оптимального керування. Funktionen der mikroprozessorischen Optimalsteuerungssystem . .	184
4.3.1.	Функції бортової системи оптимального керування (COY) (III локальний рівень COY) для трьох видів робіт. Funktionen des Bord-OSS (III lokalen Niveau des OSS) für alle drei Betriebsarten des robotisierten Krans	184

4.3.2.	Функція бортової СОУ, яка функціонує повністю автоматично (додатково до розділу 4.3.1). Die Funktionen des Bord-OSS, das funktioniert vollautomatisch (zusätzlich zu Abs. 4.3.1).	186
4.3.3.	Функція бортової СОУ, яка функціонує напівавтоматично під керуванням обслуговуючої особи – кранівника (додатково до розділу 4.3.1). Die Funktionen des Bord-OSS, das funktioniert halbautomatisch unter Steuerung des Bedienungsperson-Kranfahrers (zusätzlich zu Abs.4.3.1)	186
4.3.4.	Функція бортової СОУ, яка функціонує як "сприяння" обслуговуючої особи – кранівника (додатково до розділу 4.3.1). Die Funktionen des Bord-OSS, das funktioniert als "Unterstützung" für den Bedienungsperson-Kranfahrers funktioniert (zusätzlich zu Abs. 4.3.1)	186
4.3.5.	Функція диспетчерського пункту керування краном і бортова СОУ для крана. Die Funktionen des Dispatcherpunktes der Kransteuerung und des Bord-OSS auf den Kräne.	186
4.4.	Види робіт бортової СОУ. Betriebsarten des Bord-OSS's.	187
	Die Kontrollfragen 4.	189
5.	Апарати дослідної мікропроцесорної системи (МПС) для керування краном. Versuchsmustergeräte der Mikroprozessorsysteme (MPS) für die Steuerung des Kranes	190
5.1.	Функції та види робіт системи керування. Funktionen und Betriebsarten des Steuerungssystems.	190
5.2.	Вибір технічних засобів для мікропроцесорної системи. Wahl technischer Mittel des Mikroprozessorsystems.	191
5.2.1.	Реалізація МПС на базі мікропроцесора МКП-1. Realisierung des MPS auf der Basis des Mikroprozessor- Kranfahrerschalters Typ МКП-1	191
5.2.2.	Реалізація МПС на базі мікропроцесорного комплексу "ПОТОК-2". Realisierung des MPS auf der Basis des Mikroprozessorkomplexes "ПОТОК-2".	193
5.3.	Структурна схема МПС. Strukturschemen der MPS.	194
5.3.1.	Структурна схема МПС на базі МКП-1. Strukturchema eines MPS auf der Basis des МКП-1	194
5.3.2.	Структурна схема МПС на базі "ПОТОК-2У". Struktur des MPS auf der Basis vom "ПОТОК-2У".	195
5.4.	Датчики мікропроцесорної системи. Geber des Mikroprozessorsystems.	199
5.5.	Застосування електричного регульованого привода. Anwendung von elektrischen Regelantrieben.	204
5.5.1.	Електричний тиристорний привод постійного струму. Elektrischer Gleichstromthyristorantrieb.	204
5.5.1.1.	Типова будова тиристорного привода. Typenstruktur des Thyristorantriebes.	205
5.5.1.2.	Головний принцип функціонування привода. Hauptprinzip der Funktion des Antriebes.	206

5.5.1.3.	Конструкція і компонування комплексного електричного привода. Konstruktion und Zusammensetzung eines komplexen elektrischen Antriebes	207
5.5.1.4.	Варіанти керування швидкістю усередині МПІС. Varianter der Geschwindigkeitssteuerung innerhalb des MPS	207
5.5.1.5.	Розміщення обладнання на крані. Anordnung der Ausrüstung auf dem Kran	208
5.5.2.	Застосування асинхронного привода. Anwendung der Asynchronantriebe	209
5.6.	Узгодження МПІС з радіокеруванням. Kopplung des MPS mit einem Funksteuerungssystem	211
5.7.	Алгоритми і програми МПІС. Algorithmen und Programmen des MPS	211
5.7.1.	Застосований пакет для досягнення оптимального закону керування. Anwendungspaket für Errechnung optimaler Steuerungsgesetze	212
5.7.2.	Робочі програми для мікропроцесорних засобів. Arbeitsprogrammen für Mikroprocessormitteln	215
5.8.	Дослідна система. Результати випробувань. Das Experimentalmuster des Systems. Die Prüfungsergebnisse	215
5.8.1.	Стислий опис апаратів мікропроцесорних засобів. Kurzbeschreibung der Apparatur der Mikroprozessormitteln	215
5.8.2.	Тиристорний привод для мікропроцесорних засобів. Thyristorantrieb für die Mikroprozessormitteln	216
5.8.3.	Опис експериментального стенда. Beschreibung des Experimentalstandes	217
5.8.4.	Результати випробувань мікропроцесорних засобів. Die Prüfungsergebnisse der Mikroprozessormitteln	219
	Die Kontrollfragen 5	222
6.	Технічні вимоги до виготовлення мікропроцесорної системи оптимального керування для грейферно-бункерного крана. Technische Forderungen zur Schaffung des Mikroprozessori-schen Optimalsteuerungssystem für den Greifer-Brücken-Kran	223
6.1.	Призначення і галузь застосування. Bedeutung und Anwendungsgebiet	223
6.2.	Мета і призначення розробки. Ziel und Bestimmung der Ausarbeitung	223
6.3.	Технічні вимоги до апаратури системи. Technische Forderungen an die Systemapparatur	224
6.4.	Програмне забезпечення системи керування краном. Programmunterstützung des Kransteuerungssystems	225
	Die Kontrollfragen 6	226
Literatur	227
Inhalt	233

Навчальне видання

ГРИГОРОВ	Отто Володимирович
СВІРГУН	Володимир Петрович
АНИЩЕНКО	Галина Оттівна
СТРИЖАК	Всеволод Вікторович
ОКУНЬ	Антон Олександрович

**Оптимальне керування
підйомно-транспортними машинами
Optimale Steuerung für
Hebe- und Fördermaschinen**

Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

Роботу до видання рекомендував *В. Г. Дяченко*
Редактор *Л. А. Копієвська*

План 2012 р., поз. 59 /

Підп. до друку 13.09.2012 р. Формат 60 × 84 1/16. Папір офсет.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 12. Наклад 300 прим.
Зам. № 237. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ "ХПІ".
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.24.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Для приміток

Для приміток
